



## Forundersøgelse/risikovurdering vedr. Forskningsprogrammet om ikke-ioniserende stråling

Andersen, V.; Haagensen, K.H.; Markert, Frank

*Publication date:*  
2004

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Andersen, V., Haagensen, K. H., & Markert, F. (2004). *Forundersøgelse/risikovurdering vedr. Forskningsprogrammet om ikke-ioniserende stråling*. Risø National Laboratory.

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**Forundersøgelse/risikovurdering vedr. Forsknings-  
programmet om ikke-ioniserende stråling**

Verner Andersen  
Kim Hviid Haagenzen  
Frank Markert

Risø National Laboratory, 6. maj 2004

## 1 OPGAVERESKRIVELSE / AFGRÆNSNING

### Opgaveformulering:

*Forundersøgelsen/risikovurdering vedr. forskningsprogrammet om ikke-ioniserende stråling har til formål at tilvejebringe viden omkring eksisterende national og international forskning på området og tilsvarende programmer, der er undervejs i andre lande. Herunder at kortlægge de felter, hvor der er særligt behov for ny forskningsbaseret viden, samt de felter, hvor særligt danske forudsætninger giver anledning til, at de igangsatte forskningsaktiviteter under et forskningsprogram kan bidrage med særegne og væsentlige resultater. I forlængelse heraf overvejes en mulig projektorganisation (dvs. styringsmodel) for koordinering af igangsatte forskningsaktiviteter/- projekter under nævnte forskningsprogram.*

Forundersøgelsen er især baseret på nedenstående rapporter fra Storbritannien, Holland, Sverige, Norge og Danmark. Det skal bemærkes at rapport no. 1, Stewart rapporten, er en meget gennearbejdet undersøgelse af eksperter, som opsummerer det internationale videnskabelige erfaringsgrundlag op til 2001. Rapporten bliver således meget positivt omtalt på sundhedsstyrelsens internet-side. Derudover refererer stort set alle andre rapporter til denne undersøgelse. Nogle rapporter fremskriver forskningsstanden op til 2004 (se no. 2, no. 4 og no.6), og konkluderer samtidigt at Stewart rapportens hovedudsagn stadig er gyldige. Derfor tager nærværende rapport Stewart-rapporten som udgangspunkt i forundersøgelsen, som er blevet suppleret med de nyere rapporter.

1. Stewart, W.; Mobile Phones and Health; Independent expert group on mobile phones (IEGMP) 2000 c/o National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RQ, Storbritannien
2. Ahlbom, A.; Recent research on mobile telephony and Cancer and other selected biological effects: First annual report from SSI's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields 2003, Statens strålskyddsinstitut, Sverige
3. Statens strålskyddsinstitut; Mobiltelefoner och stråling DNR 842/2272/03, Sverige
4. Health council of the Netherlands, Electromagnetic Fields: Annual Update 2003, The Hague: 2004, publication no. 2004/01 ISBN 90-5549-510-7, Holland
5. Andersen, J. Bach; Pedersen, G. Frølund; Stråling fra Mobilmaster – et teknisk responsum; Aalborg Universitet, Februar 2004-03-05, Denmark
6. Mobiltelefon og helse; Rapport fra en ekspertgruppe opprettet etter oppdrag fra Helsedepartementet, Oslo 1-4-2003, Norge

Denne rapport er resultat af en litteraturstudie af den nationale og internationale forskningsbaseret viden om ikke-ioniserende stråling, som er typisk for moderne kommunikationsudstyr som mobiltelefoner og tilhørende anlæg. Rapporten omfatter en status over nye forskningsprogrammer, som skal sættes op i forskellige lande for at frembringe relevant viden indenfor de områder, hvor den hidtidige videns ikke er tilstrækkeligt belyst. Denne forundersøgelse tilvejebringer således viden omkring eksisterende forskningsresultater og omkring forskningsprogrammer som rammen for fremtidigt forskning.

Ikke-ioniserende stråling er et vidt begreb som omfatter elektromagnetisk stråling helt fra det synlige område til ekstremt lavfrekvent stråling som f.eks. fremkommer ved brug af elektrisk udstyr og højspændingsledninger. I nærværende rapport vil kun resultaterne for det

elektromagnetiske spektrum i området 100 MHz til 60 GHz blive betragtet. Området svarer til de frekvenser moderne kommunikationsudstyr (inklusive satellitter) bruger. Der er især lagt vægt på selve mobiltelefoni, som bruger området 900 MHz og 1800 MHz (GSM) og omkring 2000 MHz for det nye UTMS.

## 2 OPSUMMERING

Den udbredte brug af mobiltelefoner og dens kraftige eskalering især i Europa over det sidste årti vil utvivlsomt fortsætte i den nærmeste fremtid. Denne udvikling er blevet ledsaget af en offentlig debat om eventuelle skadelige virkninger på det menneskelige helbred. Forskellige befolkningsundersøgelser og forsøg med dyr har givet modstridende opfattelser, men med det overordnede resultat, at en skadevirkning for nuværende ikke med sikkerhed kan påvises. Der nedsættes dog til stadighed ekspertgrupper og afsættes midler til yderligere forskning til belysning af problemstillingen, som den engelske minister for folkesundhed har udtrykt som følger:

*”I de senere år er interessen for forskning i eventuelle påvirkninger fra mobiltelefoner øget. Der har ikke vist sig nogen klar helbredsrisiko, men den offentlige mening udtrykker til stadighed bekymring. Disse bekymringer ville det være forkert at ignorere.”*

Når der tales om skadelige helsevirkninger i forbindelse med mobiltelefoni, tænkes der umiddelbart på biologiske ændringer på grund af den udsendt elektromagnetiske stråling, og risikoen for at denne stråling enten direkte eller indirekte kan forårsage alvorlige sygdomme så som cancer.

Der er indikationer af, at bestråling med mobiltelefon-signaler ved intensiteter, der ligger indenfor de eksisterende grænser, der er specificeret af ICNIRP<sup>1</sup>, kan give korttidseffekter på den elektriske aktivitet i den menneskelige hjerne og på de kognitive funktioner. Dette kan skyldes forskellige biologiske fænomener, som er påvist gennem eksperimenter med dyr og isolerede celler. Det er vigtigt og nødvendigt at undersøge, om disse effekter på hjernen kan have konsekvenser for helbredet, og om der – såfremt dette er tilfældet – skal anvendes en revideret grænseværdi. I så fald må de gældende grænseværdier nyvurderes. Det er ligeledes vigtigt at få afgjort, om disse effekter skyldes lokal opvarmning af cellerne, eller om de skyldes andre mekanismer.

Foreløbige befolkningsundersøgelser peger ikke på, at radiofrekvens stråling (RF) vil give cancer. Denne konklusion er i overensstemmelse med de overordnede konklusioner om, at biologiske effekter af stråling, der ligger under de gældende grænseværdier, ikke giver mutationer eller fremmer tumor dannelser. Brugen af mobiltelefoner har dog indtil nu ikke foregået længe nok til at tillade afgørende befolkningsundersøgelser af deres indflydelse på helbredet, da visse sygdomme - f.eks. cancer – normalt udvikles over en længere årrække. Det kan derfor for nuværende ikke udelukkes, at der kan være relationer mellem brug af mobiltelefoner og cancer. På basis af den udbredte bekymring for dette, er fortsat forskning vigtig og nødvendig.

Der har været foretaget eksperimentelle studier på celler og dyr udsat for mobiltelefon stråling under grænseværdierne for at undersøge skadelige effekter på hjerte, blod, immunsystemet, eller på reproduktion, udvikling og livslængde. Selv længere tids bestråling og - godt nok begrænsede – befolkningsundersøgelser har ikke givet grund til bekymring om disse spørgsmål. Overordnede konklusioner indikerer ligeledes, at der ingen generel helbredsrisiko er for folk, der bor nær basisstationerne, hvor strålingen i virkeligheden kun er en brøkdel af det grænseværdierne tillader.

---

<sup>1</sup> International Commission on Non-Ionising Radiation Protection

På trods af der i øjeblikket mangler evidens for at stråling fra mobiltelefoner og basisstationer har negativ indflydelse på det menneskelige helbred, er der stadig behov for yderligere undersøgelser, f.eks. i forbindelse med særegne egenskaber hos børn og unge, der i deres udviklingsfase kunne have større modtagelighed overfor RF stråling end voksne. Ligeledes er der behov for undersøgelser, der kan afdække manglende information om langtidspåvirkninger af RF stråling. Denne information nærmer sig efterhånden en afklaring, da de første påvirkninger fra mobiltelefoner er ved at være omkring 20 år gammel. En prioriteret liste af forslag til sådanne undersøgelser er givet sidst i rapporten.

Den eneste effekt, der for øjeblikket med sikkerhed er en risikofaktor i forbindelse med brug af mobiltelefoner, er risikoen for et øget antal uheld i forbindelse med at køre bil samtidig med brug af mobiltelefon. Da det ydermere ser ud til, at risikoen for denne type uheld er lige så stor ved 'håndfri' som ved 'håndholdt' brug af mobiludstyr, må det konkluderes, at effekten næsten sikkert skyldes distraktion af chaufføren på grund af konversationen snarere end andre årsager.

### 3 INDHOLDSFORTEGNELSE

1	OPGAVEBESKRIVELSEN / AFGRÆNSNING	2
2	OPSUMMERING	4
3	INDHOLDSFORTEGNELSE	6
4	INTRODUKTION	7
5	PROBLEMSTILLING	11
6	TEKNOLOGISKE BETRAGTNINGER	12
7	ANALYSE AF NYESTE RAPPORTER	17
7.1	Ekperimentelle studier	17
7.2	Laboriestudier af RF strålings effekt på mennesker	22
7.3	Mobiltelefoner og kørsel	23
7.4	Epidemiologiske undersøgelser om generelle helseeffekter	23
7.5	Forslag til fortsat forskning	27
7.6	Undersøgelsesrapporter fra andre lande	28
8	ANALYSE AF EKSISTERENDE OG PLANLAGTE FORSKNINGSPROGRAMMER	30
8.1	WHO	30
8.2	COST action 281 programmet Potential Health Implications from Mobile Communication Systems	33
8.3	Storbritannien - program "Mobile Telecommunications and health research programme."	33
8.4	Finsk nationalt forskningsprogram	34
8.5	USA – "Studies to Evaluate the Toxic and Carcinogenic Potential of Cell Phone Radio Frequency Radiation"	34
9	INPUT TIL STYRINGSMODEL FOR FORSKNINGSPROGRAMMET	35
9.1	Prioritering	35

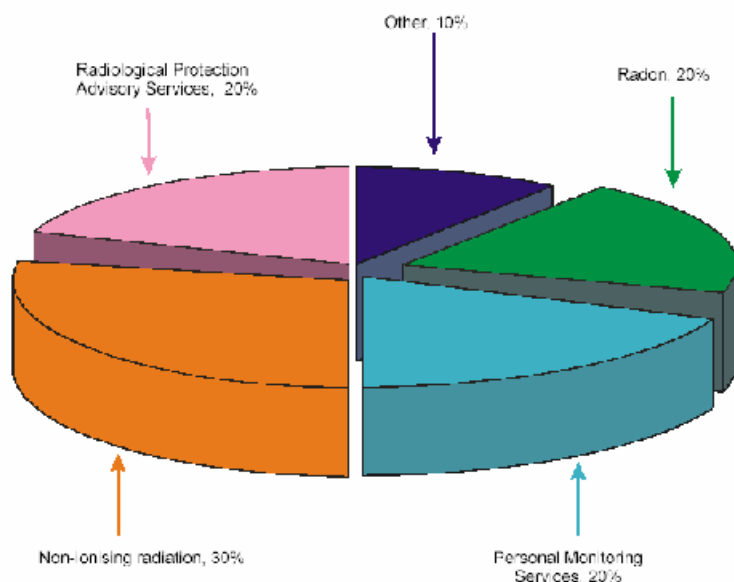
## 4 INTRODUKTION

Den udbredte brug af mobiltelefoner og dens kraftige eskalering især i Europa over de sidste ti år vil utvivlsomt fortsætte i den nærmeste fremtid. Mobiltelefoner er nu en væsentlig del af forretningslivet, handlen og den almindelige livsstil. Denne udvikling er blevet ledsaget af en offentlig debat om en eventuel skadelig effekt på det menneskelige helbred. Undersøgelser af epidemiologisk natur med mennesker eller forsøg med dyr har givet anledning til modstridende opfattelser, men med det overordnede resultat, at en skadevirkning for nuværende ikke med sikkerhed kan påvises.

På den anden side har man på baggrund af de foretagne undersøgelser heller ikke klart kunnet afvise alle mistanker, hvorfor der stadig nedsættes ekspertgrupper og allokeres midler til yderligere forskning i både i Danmark og andre europæiske lande, f.eks. Storbritannien, Finland, Frankrig, Schweiz og Italien. Problemstillingen er, som udtalt af den engelske minister for folkesundhed:

*”I de senere år er interessen for forskning i eventuelle påvirkninger fra mobiltelefoner øget. Der har ikke vist sig nogen klar helbredsrisiko, men den offentlige mening udtrykker til stadihed bekymring. Disse bekymringer ville det være forkert at ignorere.”*

Ikke-ioniserende stråling er den strålingskategori der forbindes med mobiltelefoni. Befolkningens bekymring overfor ikke-ioniserende stråling fremgår af Figur. 1. Figuren angiver, at 30% af samtlige forespørgsler til det engelske 'National Radiological Protection Board, NRPB' drejer sig om ikke-ioniserende stråling.



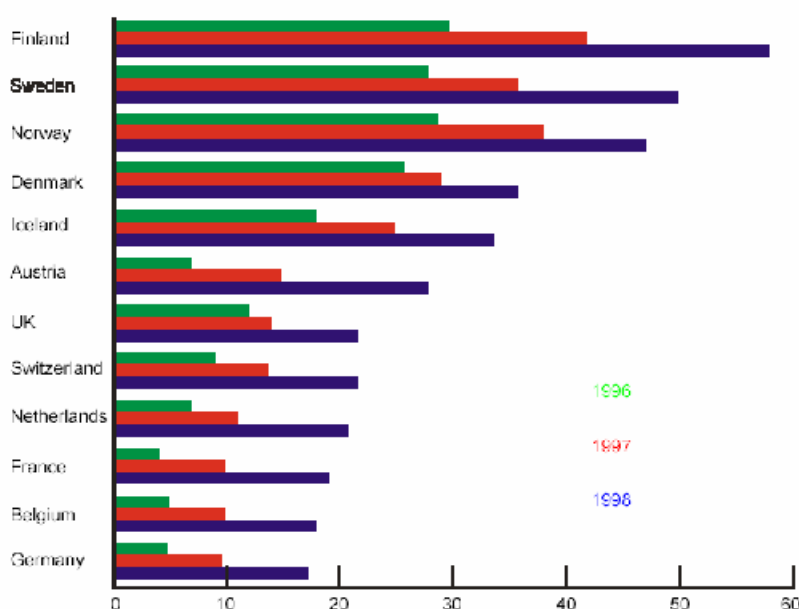
Figur 1 Spørgsmål til NRPB om radiologisk beskyttelse (baseret på 40.000 henvendelser) (kilde: Stewart rapport)

Dog viser undersøgelser af befolkningens meningsdannelse, at foretagne undersøgelser ikke altid vil være i stand til at fratage dem deres bekymring på grund af danskernes skepsis overfor sådanne undersøgelser, specielt hvis de føler, at undersøgelseskomiteen kan have egne interesser i undersøgelsens udfald. I en meningsmåling foretaget af analyseinstituttet Vilstrup



for Informationscentret for Miljø og Sundhed, fremgår det for det første, at hver tredje dansker bekymrer sig om stråling fra mobiltelefoner eller mobilantenner, og for det andet, at kun 19% tror på informationer fra teleselskaberne, mens 73% ikke stoler på dem. Selv ekspertudsegn modtages med skepsis, idet 41% stoler på eksperter, der siger, at strålingen er ufarlig, mens 52% tror dem, hvis de siger den er farlig. Den største tillid finder danskerne hos sig selv, idet 79% stoler på deres egen fornemmelse. En sådan undersøgelse viser – foruden det direkte resultat som angivet – at hvis man skal forsøge at formidle nye resultater, så de bliver opfattet som troværdige af den almene befolkning, er det af største vigtighed, at forskning og formidling foretages af neutrale og tillidsvækkende instanser.

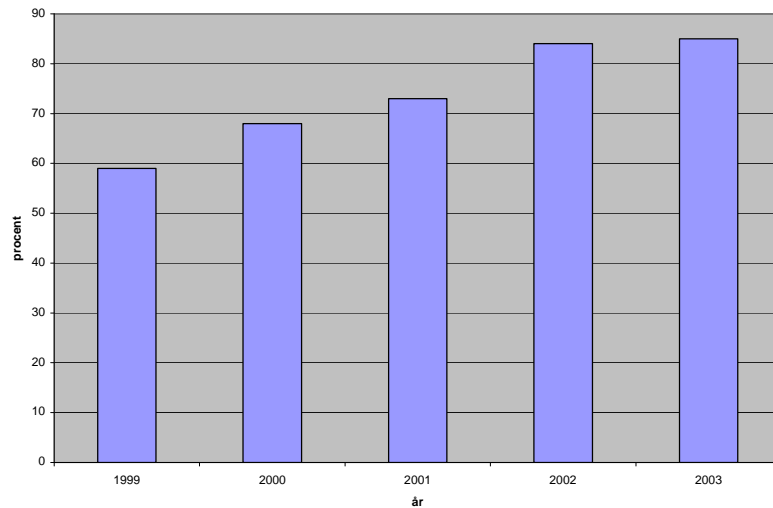
Den fortsatte hurtige vækst i brugen af konventionelle mobiltelefoner, som vist i Figur 2, indikerer dog at de fleste mennesker ikke betragter risikoen for helbredsmæssige skader for afgørende.



Figur 2 Vækst i markedsgennemslag (%) i perioden 1996 til 1998 i Vesteuropæiske lande (kilde: Stewart rapport)

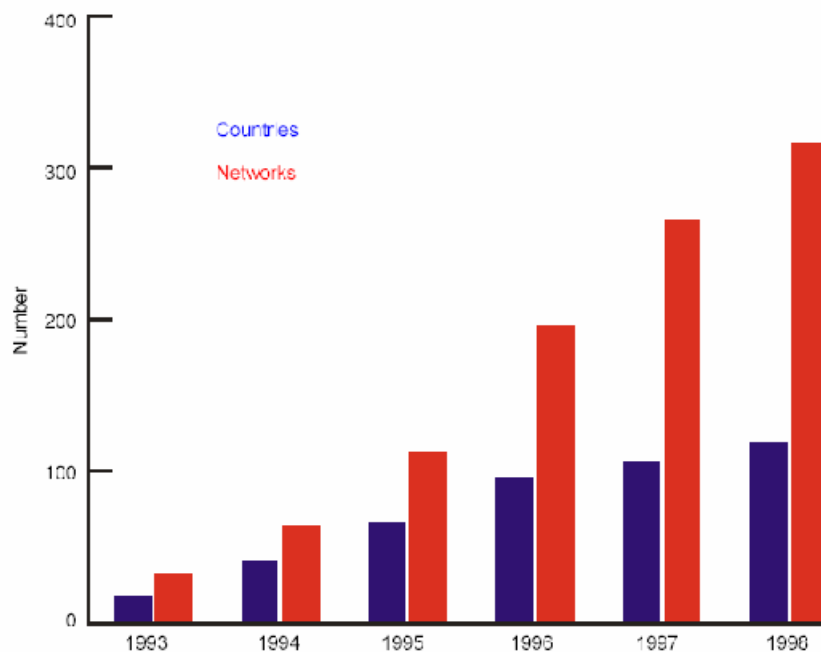
Som det fremgår af Figur 2 er de skandinaviske lande heriblandt Danmark, blandt de førende mht. udbredelse af mobiltelefoner. Dette skyldes med al sandsynlighed bl.a. at to af de største producenter af mobiltelefoner NOKIA og Ericsson, er hjemmehørende i hhv. Finland og Sverige. Seneste tal fra Danmarks Statistik viser, at 85% af de danske husstande råder over mindst een mobiltelefon, en stigning på 44% siden 1999. Udover det rent etiske aspekt, at Skandinavien som storforbrugere og storproducent af mobiltelefoner tillige bør være foregangsmand mht. forskning i eventuelle skadevirkninger, betyder den udbredte brug af mobiltelefoner, at Danmark - og de skandinaviske lande - har særlig gode muligheder mht. at gennemføre sådan forskning. Den omfattende og tidlige udbredelse af mobiltelefoner og tilhørende netværk betyder dels, at påvirkningen af stråling sandsynligvis er kraftigere, og dels at denne har forekommet over længere tid. Herved burde eventuelle skadevirkninger tillige optræde tidligere end i andre lande, hvor mobiltelefoni først har vundet senere udbredelse. Sidst men ikke mindst betyder de gode danske sundhedsregistre, at vi herhjemme er særligt godt rustet mht. at gennemføre epidemiologiske studier.

En oversigt over udviklingen af antallet af mobiltelefoner i Danmark over de sidste år er vist på Figur 3, der angiver den procentvise del af danske husstande med mindst én mobiltelefon (Danmarks statistik, Statistikbanken). Som det ses af figuren, er markedet ved at mætte.



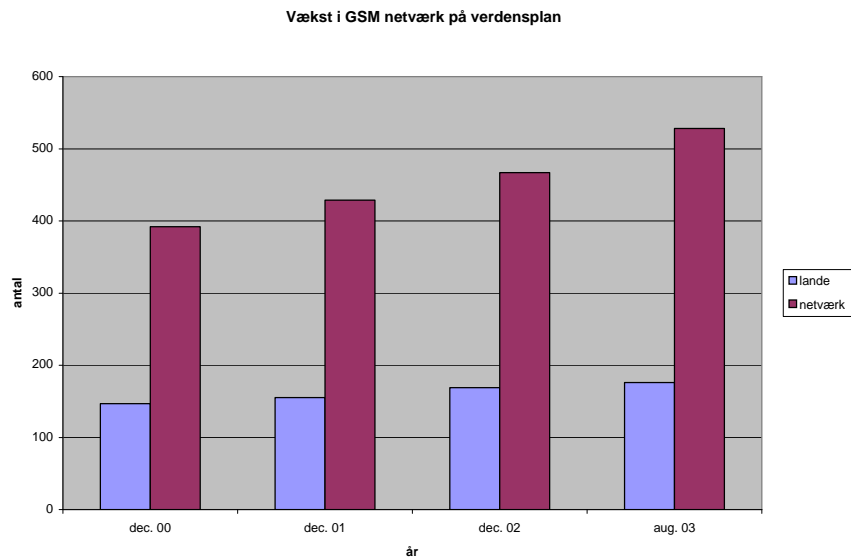
Figur 3, Den procentvise del af danske husstande med mindst én mobiltelefon (kilde: GSM Associated Network Statistics, se fodnote)

Væksten i markedet af mobiltelefonbrugere har også afspejlet sig i vækst af netværksudbydere både i relation til antal lande og antal netværk, se Figur 4.



Figur 4, Vækst i GSM netværk på verdensplan (kilde: Stewart rapport)

En opdatering over de sidste år, fra dec. 2000 til aug. 2003 er vist på Figur 5 (GSM Associated Network Statistics<sup>2</sup>).



Figur 5, Vækst i GSM netværk på verdensplan i perioden de. 2000 til aug. 2003 (kilde: GSM Associated network Statistics)

På trods af, at den direkte effekt fra mobiltelefonen, når den holdes tæt ved hovedet, er klart større end den modtagne effekt fra basis stationerne (se afsnittet om teknologiske betragtninger), er den offentlige bekymring for sidstnævnte paradoksalt nok størst. Dette kan være begrundet i, at man som person kan vælge, om man ønsker at benytte en mobiltelefon eller ej, hvorimod man ikke har kontrol over basis stationerne. Ydermere føler folk fordelene ved brugen af mobiltelefon, men føler ikke den direkte fordel af en basis station tæt ved deres hjem eller arbejde. Samtidig spiller det ind, at mange har den opfattelse, at mobiltelefoner kun afgiver stråling, når de er i brug, mens basisstationer udstråler konstant. Det er dog væsentligt at gøre klart, at mobiltelefoner afgiver stråling – dog måske ikke i nærheden af hovedet – såfremt de bare er tændt.

<sup>2</sup> <http://www.gsmworld.com/news/statistics/networks.shtml>

## 5 PROBLEMSTILLING

Mobiltelefoner og moderne kommunikationsudstyr, men også elektriske apparater udsender elektromagnetiske bølger af meget forskellig frekvens /bølgelængde.

Den eksplosivt stigende andel af dette udstyr i vores daglige liv giver anledning til sundhedsmæssige bekymringer. Ved høje effekter bliver cellerne opvarmet (termisk effekt af elektromagnetisk stråling), hvilket kan medføre sundhedsskader. Termiske effekter er meget vel dokumenteret i den videnskabelige litteratur. For at undgå sundhedsskadelige effekter er der fastlagt anerkendte grænser for den såkaldte SAR værdi, som er den specifikke absorberede RF energi i kroppen målt i W/kg. SAR værdien kan ikke direkte måles i mennesker, men beregnes f.eks. for hele kroppen. Alternativt, kan påvirkningen måles i specifikke testopstillinger. I praksis bruger man de elektriske eller magnetiske feltstyrker som kroppen udsættes for, som indirekte mål for at overholde grænseværdierne. Det er stor enighed omkring RF strålingens termiske effekt bestemt som SAR værdi<sup>3</sup>. Ved mange laboratorieundersøgelser såvel som epidemiologisk studier, er den strålingsmængden, som mennesker eller dyr udsættes for utilstrækkeligt målt og er derved en af de største usikkerhedsfaktorer. Dette implicerer at gyldigheden af sådanne undersøgelser bliver bedre ved fremskridt på dosimetri (udvikling af bedre dosimetre) området.

Grænseværdien er således vel funderet for strålingens varmepåvirkning. Der hersker dog tvivl om hvorvidt også ikke-termiske påvirkninger forårsaget af mobiltelefonernes stråling kan give skadevirkninger. Dvs. der stilles spørgsmålet, om strålingen fra mobiltelefoner og tilhørende anlæg måske har skadelige sundhedsmæssige effekter ved meget lave strålingsintensiteter, som ligger under pågældende grænseværdi? Samtidig er det usikkert om børn er mere udsat for sådanne effekter. Under betegnelsen ikke-termiske påvirkninger undersøges en række forskellige formodede effekter, så som blod – hjerne-barrieren 's effekter, dannelse af stressproteiner og andre påvirkninger af biologisk materiale. Men også fænomener som "akustisk høring af RF" og forskellige uspecifikke symptomer, som hovedpine og generelt ubehag m.m.. Det overordnede formål er at undersøge påstandene om mobiltelefonis strålings helbredsskadelige effekter, som f.eks. kræft.

De efterfølgende opsummerede forskningsresultater af relevant forskning, som er udsprunget af denne formodning, har indtil videre ikke påvist effekter, som er videnskabeligt entydige og reproducerbare af andre forskere. Dog kan den hidtidige forskning heller ikke endegyldigt udelukke eksistensen af ikke-termiske helbredsskadelige effekter. For mobiltelefoni relevante frekvenser er der heller ikke etableret en teoretisk påvirkningsmekanisme for ikke-termiske effekter mellem elektromagnetisk stråling og biologisk materiale

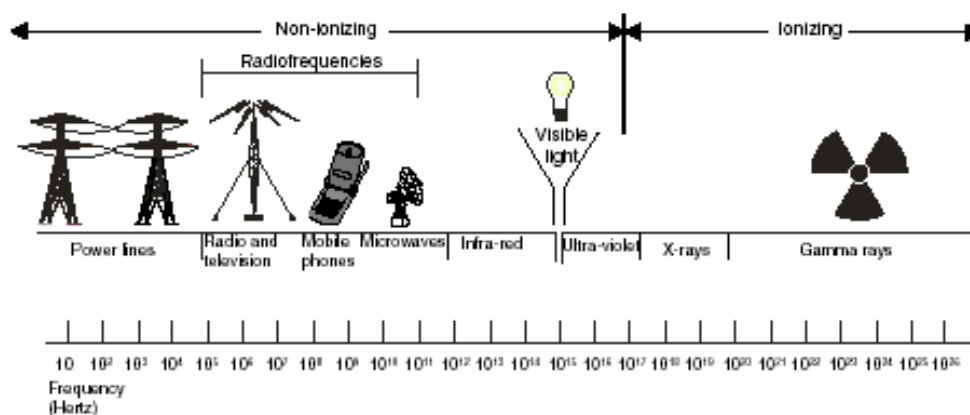
Et helt anden, dog alligevel meget relevant aspekt, er mobiltelefonernes indirekte påvirkninger af elektronisk udstyr i f.eks. fly , på hospitaler og ved brug af mobiltelefoner i eksplosionsfarlige områder. Også effekter vedr. trafiksikkerheden er vigtige. Blandt de positive sideeffekter fra mobiltelefoner kan nævnes, at ambulancer kan alarmes nemmere og hurtigere, og at personer der er blevet spærret inde eller begravet ved lavineuheld og jordskælv har større mulighed for at blive fundet, hvis de er i besiddelse af en mobiltelefon.

<sup>3</sup> Adair; Petersen; Biological Effects of Radio-Frequency/Microwave Radiation; IEEE transaction on microwave theory and techniques; vol. 50 no.3 (2002)

## 6 TEKNOLOGISKE BETRAGTNINGER

**Elektromagnetisk stråling** er en kombination af oscillerende elektriske og magnetiske felter, som udbreder sig gennem rummet med lysets hastighed og som formidler energi fra et sted til et andet. Afhængigt af omstændighederne, kan elektromagnetisk stråling opføre sig som bølger eller som partikler. Som en bølge karakteriseres elektromagnetisk stråling ved en udbredelseshastighed, amplitude og frekvens (evt. bølgelængde). Når elektromagnetisk stråling betragtes som partikler, også kendt som fotoner, har hver foton en energi, som er relateret til bølgens frekvens.

Det elektromagnetiske spektrum og de dertil relaterede typer af stråling ses på Figur 6 (GAO 2001<sup>4</sup>).



Figur 6, Det elektromagnetiske spektrum

Som det ses af figuren, inkluderer det elektromagnetiske spektrum både ioniserende og ikke-ioniserende stråling. Ioniserende stråling, så som røntgen- og gammastråler, har tilstrækkelig energi til at strippe elektronerne fra atomer og molekyler. Eksponering med ioniserende stråling kan derfor forårsage alvorlige skader med bl.a. udvikling af cancer til følge. Radiofrekvenser hører til ikke-ioniserende stråling, da energien ikke er tilstrækkelig til at ionisere. Der er imidlertid andre effekter, som den ikke-ioniserende stråling kan forårsage, og som kan give biologiske effekter, som omtalt i et senere afsnit.

I forbindelse med mobiltelefoner er der tale om forskellige systemer, der har været gennem en tidsmæssig udvikling. Der tales om en udvikling i generationer fra det nordiske analoge system, som ikke længere eksisterer i Danmark og indtil det nyeste på stammen, UMTS:

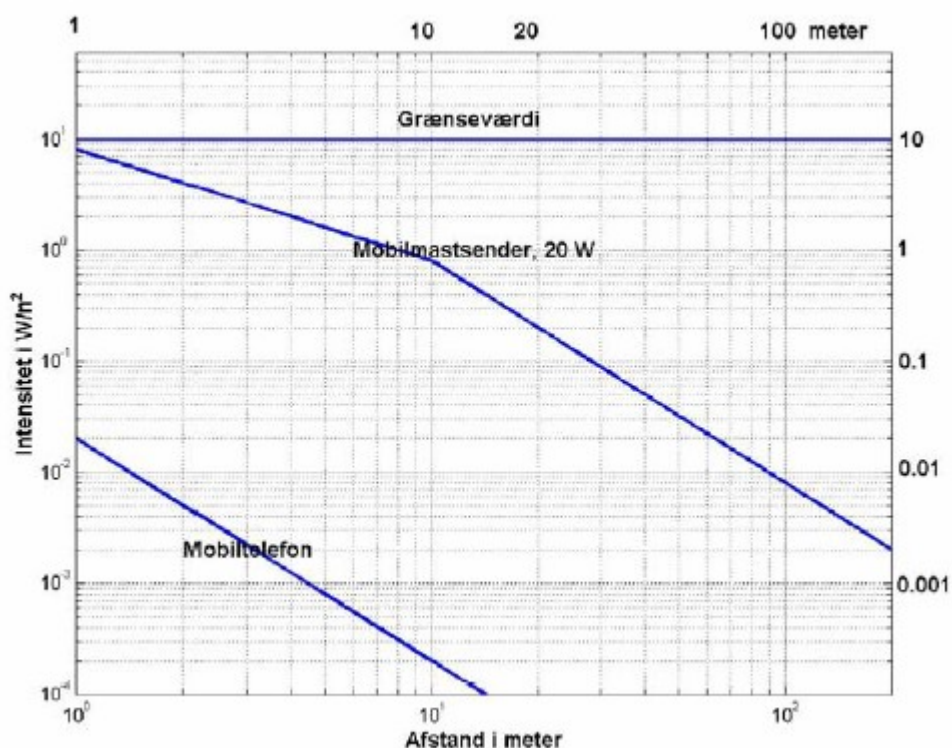
- 1.G: NMT (Nordisk Mobil Telefoni) 450 – 900 MHz, analogt, nedlagt i Danmark
- 2.G: GSM (Global System for Mobile Communications), 800 MHz og 1800 MHz digitalt, transmitterer i 'klumper'; masteffekt afhængig af brugere (belastning) 2,5-320 W, typisk 40 W. Datahastighed 10 kbit/sek
- 3.G: UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) 2110 – 2170 MHz, opdelt i 12 bånd á 5 MHz fordelt mellem operatørerne, max 20 W pr. frekvensbånd, ty-

<sup>4</sup> GAO 2001: United States General Accounting Office, Telecommunications, Research and Regulatory Efforts on Mobile Phone Health Issues, GAO-01-545.

pisk 10-15 W, ofte få W, datahastighed 380 kbit/sek, hurtige tidsmæssige variationer p.g.a. kodning

Da det er nødvendigt for telekommunikationen, at mobiltelefoner og basisstationer kan kommunikere, må de begge kunne virke både som sendere og som modtagere. Dvs. at både sendemasten og mobiltelefonen udsender elektromagnetisk stråling, og da effekten af den modtagne stråling aftager (for fjernfelter) med kvadratet på afstanden, vil mobiltelefonen holdt direkte på siden af hovedet være en afgørende faktor.

Intensitet og effekt af stråling fra mobilsendere og mobiltelefoner og deres indbyrdes forhold fremgår af Figur 7 og Figur 8 for en 3G sendestation, (Bach Andersen et al. 2004<sup>5</sup>). Effekten fra mobilmasten er 20 W og fra mobiltelefonen ca. 0,2 W i det givne eksempel.



Figur 7, Intensitet som funktion af afstand for mobilmast og mobiltelefon

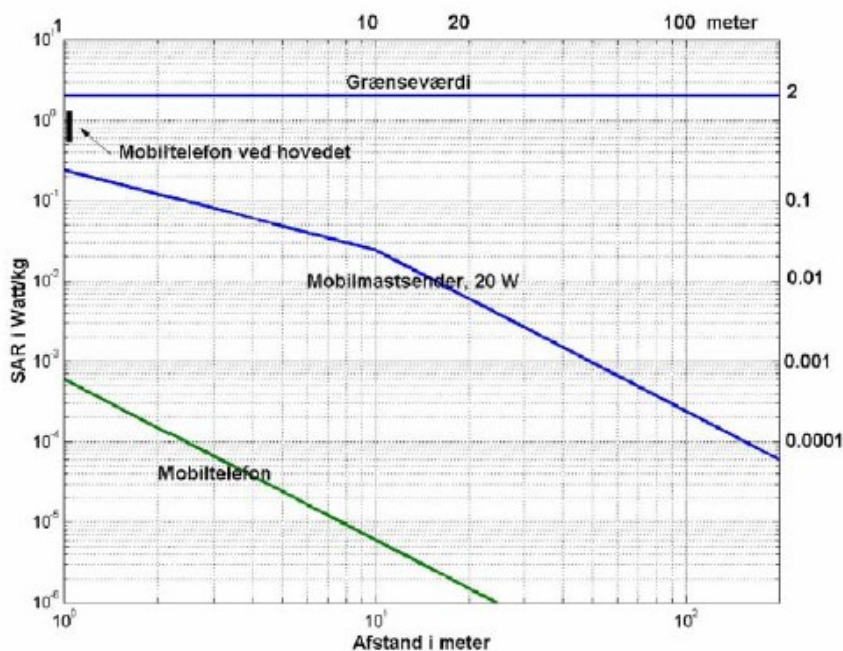
Den udsendte effekt måles i Watt. Da intensiteten udbredes over et stadig større areal når afstanden bliver større, vil den modtagne effekt afhænge af over hvor stort et areal man opsamler, og intensiteten måles derfor i  $W/m^2$ . For mobilmasten ses, at med mindre man befinder sig i umiddelbar nærhed af masten, ligger intensiteten langt under den specificerede grænseværdi, f.eks. mere end 1000 gange ved en afstand på 100 m. Grunden til at kurven knækker omkring 10 m's afstand er de specielle forhold der gør sig gældende i nærheden af senderen (nærfeltet). Tæt ved, men i niveau under antennen, hvor folk normalt befinder sig, er intensiteten forholdsvis mindre, da antennen er retningsbestemt og fortrinsvis sender i vandret retning. For mobiltelefonen betragtet som sender, ses udstrålingen at ligge flere størrelsesordener under både grænseværdi og sendemast, så selv på relativt små afstande vil en mobiltelefon kun have en megen beskedne rolle som strålingskilde, som påvirker tredje personer. Da strålingsdosen fra forskellige kilder vil addere, kunne der være frygt for at flere mobiltelefoner i samme rum i fællesskab kunne give stråling, der overskrider den tilladte strålingsgrænse. Beregninger er

<sup>5</sup> Bach Andersen et al. 2004: J. Bach Andersen, Gert Frølund Pedersen, Stråling fra Mobilmaster – et teknisk responsum, Aalborg Universitet, Februar 2004.

blevet foretaget (Toropainen, 2003 <sup>6</sup>), og disse viser, at for 900 og 1800 MHz GSM mobiltelefoner skulle der være 440 – 3200 telefoner i en togvogn, 80 – 640 telefoner i en elevator, og 20 - 160 telefoner i en bil for at overskride grænseværdien.

Anderledes stiller det sig med mobiltelefoner, når telefonen tages helt op til hovedet, hvilket er den normale position ved brug. Her er det afgørende ikke strålingsintensiteten ved hovedet, men den effekt strålingen afsætter inde i hovedet. Man er internationalt blevet enige om at anvende et mål for den indre påvirkning, der er proportionalt med den indfaldende intensitet. Enheden for dette mål er SAR, 'Specific Absorption Rate', og denne måles i W/kg. SAR er et mål for den varme der dannes i kroppen ved dens vekselvirkning med strålingen, dvs. et mål for omdannelse af strålingsenergi til varmeenergi. SAR er ikke et mål for de virkelige biologiske effekter. Den lokale temperaturstigning vil således være bestemt dels af SAR værdien, dels af den lokale afkøling. SAR værdien vil, foruden den direkte indfaldende intensitet, afhænge af frekvensen, hovedets anatomi, mobiltelefonens konstruktion og afstanden til hovedet. Den lokale afkøling vil afhænge af den termiske ledningsevne og den lokale blodgennemstrømning. SAR kan ikke måles direkte, da man ikke kan måle temperaturen inde i hovedet, så man har derfor brugt modeldukker, hvor materialet svarer til det menneskelige væv og derved fundet et tal, der kan konvertere den indfaldende intensitet til en SAR værdi. SAR opgives af mobil producenter og ligger for tiden mellem 0,26 og 1,5 W/kg for fuld maksimal sendeeffekt. For 3G (3. generation) frekvenser kan man beregne SAR for en voksen ved at gange intensiteten med 0,03 m<sup>2</sup>/kg, i.e. 1 mW/m<sup>2</sup> giver 0,03 mW/kg.

Figur 8 viser SAR værdier for en mobilmast og en mobiltelefon med samme sendeeffekter som i Figur 7.



Figur 8, SAR funktion af afstand for mobilmast og mobiltelefon

For både mobilmasten og mobiltelefonen set som 'fjern-kilde' er SAR virkningen for begge langt under den accepterede grænseværdi. Når mobiltelefonen holdes til hovedet, derimod, er dens lokale SAR værdi kun omkring en faktor 2 under grænseværdien.

<sup>6</sup> Toropainen, 2003: Toropainen, A., Human exposure by mobil phones in closed areas. Bioelectromagneticx, 2003, **24**, 63-65.

Grænseværdierne for mobiltelefonstråling er baseret på opvarmningseffekten fra energien i den RF elektromagnetiske stråling. Det er velkendt, at RF stråling ved tilstrækkelig energi kan opvarme væv og forårsage beskadigelser på levende organismer. Ved dyreforsøg bestemmes SAR ikke ved temperaturstigninger, men på ændring i adfærd. Videnskabelige undersøgelser har vist, at dyrs adfærd påvirkes ved bestråling med RF ved absorption svarende til en temperaturstigning på 1 °C. Der er ingen direkte relation mellem SAR værdier for mennesker og forsøgsdyr, da anatomi og kropsstørrelse spiller voldsomt ind. F.eks. vil en strålingsintensitet på 10 W/m<sup>2</sup> ved 70 MHz give en SAR værdi på 0,25 W/kg for et menneske, men kun 0,0125 W/kg for en rotte. Omvendt vil 700 MHz stråling resulterer i 0,8 W/kg for rotten og kun 0,04 W/kg for et menneske.

To organisationer, der begge sætter standarder, IEEE<sup>7</sup> og NRC<sup>8</sup>, er enedes om en betragtelig sikkerhedsfaktor for deres standard for generel menneskelig bestråling på en halvtredsindstyvende del af den stråling, der påviselig giver skadeseffekter på dyr. Under hensyntagen til korrektion fra helkropsbestråling til lokalbestråling, som er gældende for mennesker ved RF stråling fra mobiltelefoner, er SAR niveauet sat til 1,6 W/kg midlet over 1 g væv. Den eneste med sikkerhed påviste skadevirkning fra RF stråling skyldes termisk effekt. Derfor har ikke-termiske effekter, som stadig diskuteres og undersøges, ikke haft indflydelse på fastsættelsen af grænseværdien. I Europa er man enedes om en grænseværdi fastsat af "International Commission on Non-Ionising Radiation Protection, ICNIRP", der tilsvarende angiver 2 W/kg for bestråling af hoved og krop. Ved middelpåvirkning over hele kroppen er grænseværdien 0,08 W/kg, se nedenstående tabel for frekvensområdet 100 kHz til 10 MHz. For SAR værdier gælder, at værdier skal midles over 10 g væv og 6 min's måletid.

**Table 4.** Basic restrictions for time varying electric and magnetic fields for frequencies up to 10 GHz<sup>a</sup>

Exposure characteristics	Frequency range	Current density for head and trunk (mA m <sup>-2</sup> ) (rms)	Whole-body average SAR (W kg <sup>-1</sup> )	Localized SAR (head and trunk) (W kg <sup>-1</sup> )	Localized SAR (limbs) (W kg <sup>-1</sup> )
Occupational exposure	up to 1 Hz	40	—	—	—
	1-4 Hz	40/f	—	—	—
	4 Hz-1 kHz	10	—	—	—
	1-100 kHz	f/100	—	—	—
	100 kHz-10 MHz	f/100	0.4	10	20
General public exposure	10 MHz-10 GHz	—	0.4	10	20
	up to 1 Hz	8	—	—	—
	1-4 Hz	8/f	—	—	—
	4 Hz-1 kHz	2	—	—	—
	1-100 kHz	f/500	—	—	—
	100 kHz-10 MHz	f/500	0.08	2	4
	10 MHz-10 GHz	—	0.08	2	4

På grund af måleusikkerheder og mangel på veldefinerede procedure kan SAR værdier for mobiltelefoner variere med plus eller minus 50 – 60%. Dette indikerer klart et behov for standardiseringer i målemetoder og forbedringer i måleudstyr.

WHO har bl.a. på denne baggrund og med afsæt i forsigtigheds princippet afstukket et sæt retningslinier for, hvordan man overordnet bør forholde sig ved forskellige niveauer af usikkerhed:

- Meget svag mistanke om risiko: Fortsæt med at følge udviklingen indenfor området;
- Svag mistanke om risiko: Direkte regler eller forskrifter bør undgås, men enkle forebyggende foranstaltninger uden for store omkostninger for den enkelte eller samfundet

<sup>7</sup> IEEE er en medlemsorganisation, som blandt andre aktiviteter udvikler industrielle standarder.

<sup>8</sup> NRPA er en 'non-profit' selskab benyttet af den amerikanske kongres til at formulere og distribuere information, retningslinier, og anbefalinger angående strålingsbeskyttelse og målinger.



kan være formålstjenlige, f.eks. en personlig beslutning om at anvende håndfrit udstyr. Det er vigtigt med fortsat forskning for at udfylde de områder med manglende viden;

- Relativt stærk mistanke om risiko: Borgerne bør informeres. Mærkning af produkter kan komme på tale;
- Mistanke om alvorlige skader: Regler for brug gennem forskrifter og advarsler vedtages for at mindske skaderne;
- Stærk mistanke om skader: Udsættelse for stråling reduceres og forbud bør overvejes.

I Frankrig har man konkrete forslag til mindskelse eksponeringsniveauet for mobiltelefonbrugere ved brug af følgende regelsæt:

- Det skal gøres obligatorisk at den maksimale SAR-værdi for mobiltelefonen gøres tilgængelig for forbrugerne;
- Metoderne til at måle mobiltelefoners effektivitet skal undersøges; SAR-værdien er ikke tilstrækkelig. Frankrig vil tage initiativ på EU niveau til at få udviklet sådanne metoder;
- Alle mobiltelefoner, der sælges på det franske marked skal være forsynet med håndfrit udstyr;
- Alle mobiltelefoner på markedet skal kunne vise det gennemsnitlige eksponeringsniveau for den sidste samtale. Dette skal gennemføres ved standardisering på EU-niveau;
- En informationskampagne rettet mod offentligheden skal vise hvordan unødigt eksponering kan undgås under anvendelse af mobiltelefoner.

Udover bedre målemetoder og procedure for bestemmelse af SAR værdier, er der også behov for udvikling af simple, men nøjagtige dosimetre. F.eks. er der ofte stor usikkerhed ved epidemiologiske undersøgelser, hvor man antager, at folk i et bestemt område har modtaget en bestemt strålingsdosis ud fra kendskab til et generelt niveau. Dette kan være behæftet med stor usikkerhed, og vil kunne forbedres betydeligt, hvis målegruppen kunne udstyres med bekvemt bærbare nøjagtige dosimetre, som kendes fra måling af ioniserende stråling. Målet herved ville være, at måle den RF stråling en person bliver udsat for i løbet af døgnets 24 timer. Et dosimeter vil imidlertid kun være i stand til at måle den kumulative stråling, dvs. effekt-tætheden over tid. Biologiske effekter er imidlertid afhængige af dosis hastigheden og ikke kun den totale dosis (f.eks. vil bestråling med  $200 \text{ mW/cm}^2$  i 10 minutter ikke have samme effekt som  $1 \text{ mW/cm}^2$  i 2000 minutter). Ydermere må der også tages hensyn til at dosimetret kan være skærmet af den person, der bærer det. Yderligere undersøgelser er påkrævet på dette felt.

## 7 ANALYSE AF NYESTE RAPPORTER

Den mest gennemførte rapport til dato er den engelske rapport, ”Mobil Phones and Health (Stewart 2000)” udarbejdet af en uafhængig ekspertgruppe i relation til mobiltelefoner med Sir William Stewart som ’chairman’. Denne rapport dækker undersøgelser og konklusioner op til år 2000. På baggrund af den senere og opdaterede rapport fra ”Independent Advisory Group on Non-ionising Radiation” fra 2003, (AGNIR 2003)”, hvor det anføres, at konklusionerne fra Stewart rapporten ikke har ændret sig gennem de efterfølgende år op til 2003, har denne rapport været brugt som udgangspunkt, dog med kommentarer til de få punkter, hvor der har vist sig uoverensstemmelser med senere opfattelser.

Det efterfølgende vil derfor give eksempler på problemstillinger anført i Stewart rapporten efterfulgt af konklusioner baseret på forskellige foretagne eksperimentelle undersøgelser.

### 7.1 Eksperimentelle studier

#### Biologiske betragtninger

Med hensyn til eventuelle mulige effekter i hovedet, har man hovedsageligt koncentreret sig om funktionelle ændringer og konsekvenser i adfærd. Med hensyn til helkropsbestråling har man koncentreret sig om mulige karcinogene processer, reproduktion og udvikling, immunforsvar, og om kardiovaskulære systemer og total livslængde.

Der er foretaget og beskrevet undersøgelser, der behandler specifikke delsystemers reaktion på bestråling med elektromagnetiske felter i radiofrekvensområdet:

#### 7.1.1 Nervesystemet: Kan RF påvirkning give funktionelle ændringer i hjernen og ændringer i adfærd?

Der er speciel fokus på adfærd og mulige effekter i hjernen ved gentagen, intens bestråling af RF felter, specielt fordi mobiltelefoner normalt holdes tæt ved hovedet. I medierne kan ofte ses omtale af effekter fra mobiltelefoner såsom hukommelsestab, koncentrationsbesvær, og variationer i blodtrykket. Resultater relateret til mennesker vil blive behandlet i det efterfølgende afsnit om ’Laboratiestudier af RF strålings effekt på mennesker’. Først ser vi her på forskellige differentierede effekter i relation til nervefunktioner.

#### Effekter på cellemembraner: kan RF felter påvirke bevægelsen af stof gennem membraner?

**Konklusion:** Det er bevist, at RF felter kan påvirke membran proteinerne og kan påvirke bevægelsen gennem membraner. Nogle af disse effekter synes kun at forløbe i celler med temperatur langt under normal legemstemperatur eller med RF intensiteter som giver signifikant opvarmning. Der er imidlertid forsøg der peger på, at RF stråling ved niveauer svarende til mobiltelefonstråling kan influere ion-kanaler og andre membran proteiner under normale betingelser. Dette kan give små ændringer i cellefunktionen, men signifikansen for sådanne effekter for det menneskelige helbred er usikker. Ydermere er disse effekter ikke blevet uafhængigt konfirmeret, hvilket er i overensstemmelse med den hyppige mangel på reproducerbarhed af RF biologiske effekter.

### **I forbindelse med calciums vitale rolle i neuroner og andre cellers funktion, er der lavet flere undersøgelser på effekten af RF felter på calciums bevægelse i hjernevæv**

Resultaterne er modstridende, men med overvægt mod at RF stråling ved middel intensitet kan forøge frigivelsen af calcium fra hjernevæv. Indikationer af, at disse effekter forløber specielt ved amplitudemodulerede, AM, felter ved ekstremt lave frekvenser, er interessant, men vanskelig af forklare. Ydermere har denne viden ikke relevans for mobiltelefonien, hvor AM indenfor det kritiske frekvensbånd er meget lille. Som forsigtighedsforanstaltning anbefales det dog at AM omkring 16 Hz – frekvensen hvor effekten er kraftigst – så vidt muligt bør undgås ved fremtidig udvikling af signal kodning.

### **Neurotransmitter systemer**

Ændringer i neurotransmittere, der frigøres ved nerve terminalerne, kunne måske ændre hjernefunktionen. Da frigørelsen er afhængig af det intracellulære calcium niveau, har der været bekymring om at det kunne påvirkes af RF stråling.

Konklusion: Det meste af arbejdet med neurotransmittere har anvendt høj strålingsintensitet, hvilket sandsynligvis har resulteret i termoregulering eller andre reaktioner på temperaturændringer. I lyset af neurotransmitteres vitale rolle i nerve funktioner og indflydelsen af specielle transmittere på regulering af menneskelige funktioner som bevægelse, hukommelse og søvn, bør dette felt undersøges yderligere, specielt med henblik på disse funktioner hos mennesker.

### **EEG hos dyr**

Elektrofysiologiske eksperimenter på dyr involvere måling af spændinger fra hjernen ved anbringelse af elektroder på eller i hjernen.

Konklusion: Studier af EEG på dyr er ikke direkte relateret til mobiltelefon teknologi, og resultaterne har været blandede. Nogle har påvist ikke termiske effekter i hjerneaktiviteten.

### **Indlæring og hukommelse**

For at undersøge indlæring har der været anvendt teknikker til at undersøge adfærdsreaktion, såsom at trykke på en pedal efter et visuelt eller audiotivt signal.

Konklusion: Forøgelse af kropstemperatur på 1 °C eller mere vil lede til ændringer i tillært adfærd. Der er imidlertid ingen eksperimentel evidens om, at udsættelse for RF felter vil påvirke indlæring eller hukommelse hos dyr. Der er dog behov for studier af mennesker for at afgøre om felter fra mobiltelefoner har effekt på hukommelse eller indlæring.

### **Blod-hjerne barrieren**

Tidligere undersøgelser har anført at blod-hjerne barrieren, som normalt forhindre store molekyler i at bevæge sig fra blodet ind i den cerebrospinale væske, kan være følsom overfor lav-niveau pulsede RF felter. Barrierens gennemtrængelighed kan undersøges ved at måle indtrængningen i hjernen hos bestrålede dyr efter injektion af forskellige stoffer.

Konklusion: Undersøgelserne af effekten af RF bestråling på blod-hjerne barrieren er inkonsistente og modstridende. Senere omhyggelige studier har ikke vist nogen effekt.

### **Studier af melatonin**

Melatonin er et hormon sekret i pinealkirtlen (epifysen), der kontrollere døgnrytmen.

Konklusion: De få forsøg, der har været udført, har ikke indikeret at bestråling af RF felter påvirker pinealkirtlen eller melatonin produktionen. Det må yderligere bemærkes, at hypofysen og pinealkirtlen er meget længere væk fra hovedets overflade hos mennesker end hos dyr. Derfor ville en eventuel påvirkning af melatonin produktionen hos dyr i forbindelse med en direkte påvirkning af felter i hjernen være langt mindre sandsynlig hos mennesker.

### **7.1.1.1 Overordnede konklusioner om effekter på nerve systemet**

Risici for påvirkninger af nervesystemet ved stråling fra RF felter er blevet betragtet. De mest konsistente indikationer påpeger, at ændringer i medfødt og tillært adfærd kan forekomme hvis strålingen medføre signifikant opvarmning således at kropstemperatur eller temperaturen af lokalt væv øges med omkring 1°C eller mere. Evidensen af effekter uden opvarmning er generelt uden konsistens eller overbevisning. Nogle studier indikerer dog at lav-niveau bestråling ved bestemte AM frekvenser kan påvirke membran proteinerne, bevægelse af calcium og andre ioner gennem barriere, samt EEG rytmerne. Relevansen af disse resultater i relation til mobiltelefoni og det menneskelige helbred er uklart.

Det må samtidig bemærkes i forbindelse med dyreforsøg, at der er forskel på RF energi afsætning hos gnavere og mennesker. Dette gør en direkte ekstrapolation fra dyrestudier til ændringer i menneskers kognitive adfærd usikker. Ligeledes vil indtrængningen af RF felter i hjernevævet være forskelligt fra gnavere til mennesker, da intensiteten af strålingen vil være jævnt fordelt i en lille gnaverhjerne, hvorimod kun områder nær øret vil blive bestrålet i den langt større menneskehjerne. Primathjerner vil have større anatomisk lighed med menneskehjerner, og også have lignende proportioner, hvilket vil give en bedre model for fordelingen af den absorberede energi.

### **7.1.2 Effekter på øjet**

Øjelinsen er potentielt følsom for RF påvirkning, på grund af mangel på blodtilførsel og deraf mangel på mulighed af at bortlede varmen. Ydermere har de fibre, der danner linsen begrænset mulighed for at reparere sig selv. Derfor vil selv mindre påvirkninger akkumulere og resultere i matfarvning af linsen (grå stær).

Konklusion: Intensiteten af de pulsede RF felter, der har været anvendt i disse forsøg var klart over den SAR værdi og specifikke absorption, som kunne påvirke øjet ved brug af normale mobiltelefoner. Undersøgelserne rejser imidlertid bekymringer om mulige negative konsekvenser for øjet fra intense pulsede RF felter.

### **7.1.3 Cancer-relaterede studier: Kan RF bestråling påvirke carcinogene processer?**

DNA i vore kromosomer, som kontrollere væksten og funktionerne i vore celler, er normalt bemærkelsesværdige stabile, selv om der er forskellige mekanismer for beskyttelse og reparation af beskadigelser.

#### **Kan RF stråling, in vitro eller in vivo, påvirke katalytiske effekter?**

Konklusion: Puls-modulerede RF felter fra mobiltelefoner kan ved ikke-termiske niveauer give let forøgelse i visse enzym aktiviteter. Det er imidlertid meget usandsynligt, at disse små ændringer i sig selv vil have tumor-fremmende effekt. Det er ligeledes usandsynligt, at sådanne effekter vil virke synergetisk med andre risikofaktorer og bidrage til udvikling af tumorer.

#### **Kan RF stråling påvirke cellevækst, overlevelse eller formering?**

Ændringer i kinetikken i celle-delning og i celle-formering vil spille en afgørende rolle i generering af cancer. Derfor vil enhver forøgelse i celle-formering på grund af RF stråling kunne indikere en karcinogen indflydelse.

Konklusion: Taget over ét kan eksperimenter på DNA syntesen ikke demonstrere overbevisende, konsistente ændringer i celle-formering under betingelser der efterligner emission fra mobiltelefoner eller basis stationer. På baggrund af resultater fra Stagg et al (1997) bør effekten af RF felter på nukleinsyre dog undersøges nærmere.

### **Kan RF stråling resultere i DNA skader, mutationer, eller ændringer i kromosomerne?**

Konklusion: Taget over middel indikerer resultaterne af undersøgelser, at ved normal temperatur (i overensstemmelse med bestråling under grænseniveau) vil RF stråling ikke inducere mutationer i hverken somatiske celler eller i bakterier.

### **DNA beskadigelse: in vitro undersøgelser**

Studier på bakterier, plante- og dyreceller bestrålet in vitro, hvor termiske effekter direkte kan observeres og kontrolleres, har ikke vist direkte evidens af DNA beskadigelser selv ved effekter op til 100 W/m<sup>2</sup> og SAR værdier op til 20 W/kg.

### **Langtids studier af cancer introduceret i dyr**

En demonstration af, at langtids bestråling med RF felter vil forøge antallet af tumortilfælde for dyr, ville give en direkte indikering af, at denne stråling er karcinogen.

### **Spontane tumor tilfælde**

100 rotter blev udsat for lave doser af 2,45 GHz felter. Det totale antal af godartede tumorer i binyre marven var højere for den bestrålede gruppe sammenlignet med kontrolgruppen, men dog ikke væsentlig højere, end hvad der var almindeligt for den type rotter. Der var ingen signifikant forskel mellem grupperne taget over alle godartede svulster efter dødsfald. Ydermere var der ingen øgning af enkelttyper af ondartede tumorer på grund af bestrålingen. Faktisk var forekomsten af primære ondartede tilfælde tilsvarende de spontane tilfælde for denne type rotter. Alligevel, når det samlede antal af primære ondartede tilfælde blev gjort op uden hensyn til dødsårsag, havde den eksponerede gruppe et højere antal tilfælde end kontrolgruppen.

Andre forsøg har til gengæld ikke vist effekter fra RF stråling i relation til cancertilfælde på mus med tendens til brystkræft.

### **Kan RF stråling vekselvirke med kendte genotoxic agenter og derved øge deres effekt?**

Epigenetiske faktorer kan – uanset de ikke selv er genotokiske – virke synergetisk og derved øge andre stoffers karcinogene effekt.

Konklusion: Selv om positive rapporter om at RF stråling kan øge aktiviteten af genotokiske stoffer kan skyldes termiske effekter, må beviset for epigenetiske effekter tages alvorligt. Derfor er yderligere forskning nødvendig indenfor dette område.

#### **7.1.3.1 Generelle konklusioner fra cancer-studier**

Forskellige forsøg indikerer, at RF stråling kan initiere tumordannelse, forøge effekten af kendte karcinogener eller fremme væksten af transplanterede tumorer. I nogle af disse forsøg var strålingsintensiteten imidlertid høj nok til at give termiske effekter. Den overordnede konklusion af både in vitro og in vivo eksperimenter indikerer, at hverken akut eller kronisk eksponering med RF felter vil øge mutationen eller frekvensen af kromosomale ændringer når temperaturen holdes indenfor fysiologiske grænser. Dette indikerer, at det er usandsynligt, at RF påvirkning vil virke som tumor initiator. Forskellige cancer-studier har ved brug af dyr forsøgt at finde evidens for at effekten af RF eksponering kan influere på mængden af spontane eller naturlige cancer-tilfælde, øge effekten af kendte karcinogener eller væksten af implanterede tumorer. Forsøgene har dog kun givet tvetydige svar på effekten af tumor tilfælde.

#### **7.1.4 Toksiske effekter på målorganer**

Studier af RF strålings indvirkning på livslængde har normalt ikke vist nogen indflydelse på livslængden hos forsøgsdyr.

##### **Hæmatopoetiske systemer, immun systemer og livslængde**

Ændringer i hæmatopoetiske systemer (væv relateret til dannelse af blodceller) kan have direkte effekt på helbredet. Enhver information om effekt på dette system fra RF stråling er derfor af fundamental vigtighed for vurdering af mulige risici for helbred og velbefindende.

Der er ikke fundet nogen konsistent effekt fra lavt niveau RF stråling på bloddannelse eller cirkulerende blodceller.

Immunsystemet er forsvaret mod mikroorganismer, vira, og visse cancer celler. Enhver effekt på dette system fra RF stråling kunne derfor have signifikant indflydelse på helbredet. Termiske effekter fra RF stråling kan fremkalde både stimulerende og decimerende respons hos komponenter i immun systemet. Disse effekter ses imidlertid som forbigående og den normale tilstand vender tilbage efter bestrålingens ophør.

##### **Reproduktion og udvikling**

Mange processer relateret til reproduktion er specielt følsomme overfor toksisk påvirkning. Deling af celler til dannelse af sperm eller æg, befrugtning og fosterudvikling kan alle forstyrres af toksikologisk påvirkning.

Konklusionen fra et stort antal studier af gnavere, som udsættes for RF felter svarende til mobil telekommunikation, er at der ingen overbevisende evidens er om risici for fostre eller for mandlig fertilitet. Selv om det er tvivlsomt, at nedsættelsen af kvindelig fertilitet, som er beskrevet i et enkelt forsøg, virkelig skyldtes eksponering med meget lav intensitet, er det vigtigt at gentage dette forsøg under bedre kontrollerede forhold.

##### **Indflydelse på det kardiovaskulære system**

RF stråling kan have indflydelse på hjertet og på cirkulationen gennem flere faktorer.

Konklusion: Studier på dyr har ikke retfærdiggjort nogen bekymring om indflydelse på hjerte eller cirkulation på grund af RF stråling svarende til strålingen fra mobiltelefoner. Effekter ved højere intensiteter skyldes opvarmning af kroppen.

#### **7.1.5 Opsummering af konklusioner fra eksperimentelle studier af dyr og celler**

De termiske konsekvenser ved akut RF bestråling af dyr viser sig at være årsag til mange af de rapporterede effekter på kardiovaskular-, endokrin-, og immun-systemet samt på adfærd. En stigning i kropstemperaturen på 1-2 °C er nødvendig for at give disse effekter. Udviklingseffekter i lighed med dem, der vides at blive induceret ved varme, er blevet rapporteret for gnavere som følge af høje temperaturstigninger (3-4°C) i fostret ved RF bestråling under graviditeten.

Andre effekter forbliver kontroversielle. Spørgsmålet om lav niveau RF stråling kan forøge risikoen for cancer er af speciel vigtighed, selvom der ikke er nogen teoretisk basis for at strålingen kunne ødelægge DNA molekylet, da det mangler tilstrækkelig energi til direkte at kunne ødelægge de molekulære bindinger.

Lav-niveau pulserende (og somme tider kontinuert) RF felt påstås at kunne ødelægge øjenvæv hos primater og producere ikke-specifikke stresslignende ændringer i rottehjerner. Hvis tilsvarende effekter kan forekomme hos mennesker kunne det give anledning til helseproblemer. Der findes også en del beviser for biologisk respons på AM RF felter ved SAR værdier, der er for lave til at give nogen opvarmning. Den tilhørende litteratur er imidlertid inkonsistent, og effekterne der er rapporteret er typisk små og tæt på niveauet for statistisk støj. Resultaterne er

derfor meget vanskelige at interpretere både med hensyn til biologisk signifikans og med hensyn til implikationer for det menneskelige helbred.

## 7.2 Laboratoriestudier af RF strålings effekt på mennesker

### Hjernefunktion

Blandt de bekymringer, der udtrykkes i forbindelse med brug af mobiltelefoner, er mulighed for, at signalerne fra disse kan have ødelæggende effekt på kognitive funktioner, så som hukommelse og koncentration. På trods af disse bekymringer har kun relativt få undersøgelser beskæftiget sig med disse forhold for mennesker, og de som har, har alle kun undersøgt korttids effekter fra eksponeringer. Ydermere har undersøgelserne hovedsagelig beskæftiget sig med lav-niveau RF stråling i mobil telefon frekvens området, og de har ikke kun fokuseret på kognitive adfærd per se, men på fysiologiske målinger af hjerne funktioner, så som EEG målinger.

### Studier af kognitiv adfærd

Undersøgelse af korttids effekter ved eksponering med elektromagnetiske felter er i princippet relativt nemt. En lang liste af arbejdsopgaver er blevet udarbejdet af eksperimentelle psykologer til brug for at undersøge specifikke aspekter af kognitive funktioner (e.g. korttids og langtids hukommelse, selektiv opmærksomhed og hastighed ved beslutningstagning), og de eksperimentelle opstillinger, der er nødvendige for at bestemme om elektromagnetiske felter påvirker adfærden ved sådanne opgaver er uproblematisk.

Preece *et al* (1999) har undersøgt adfærd for 36 frivillige forsøgspersoner i forbindelse med et bredt område af arbejdsopgaver, inkluderende korttids- og langtids hukommelse, reaktionstid (RT) på simple opgaver, vedvarende opmærksomhed, alt i alt summende op til 15 afhængige variable.

Den anvendte stråling svarede til simulering af analog og GSM mobiltelefonsignaler på henholdsvis 1W og 0,125W. Der var ingen statistisk signifikant effekt af bestrålingen; men en ikke signifikant indikation af en reduktion af RT af størrelsesorden nogle ms.

Koivisto *et al* (2000) har studeret 48 frivillige forsøgspersoner, ligeledes med en bred vifte af kognitive tests (12 i alt, som gav 14 målinger af RT og et tilsvarende antal af nøjagtighedsmål).

I et senere studie har Koivisto udført et lignende eksperiment for at undersøge effekten af mobiltelefon signaler på adfærden af 48 personer i en "n-back" "working memory" opgave. (1-back: gentag den umiddelbart foregående operation, 2-back: gentag den næstsidste operation, og så fremdeles).

Koivisto fandt ingen effekt relateret til nøjagtighed, men en signifikant reduktion i RT på, e.g., 36 ms i '3-back' tilfældet.

### Electroencephalogram (EEG)

Resultatet af EEG undersøgelser på mennesker udsat for bestråling med mobiltelefon-signaler viser, at selv ved intensiteter, der falder indenfor de eksisterende grænseværdier, er der biologiske effekter, der er tilstrækkelige til at give indflydelse på adfærden. Grunden til denne mekanisme er uklar, men kunne inkludere en svag lokal opvarmningseffekt.

Studier af relationer mellem adfærd og EEG for mennesker mangler stadig direkte beviser på spørgsmålet om sikkerhed ved mobiltelefoni på langt sigt. Eksperimentelle undersøgelser foretaget indtil nu er ikke tilstrækkelige, da de har fokuseret på konsekvenser ved korttids bestråling. For at undersøge, om anvendelse af mobiltelefoner har langtidseffekter på menneskelig hjerneaktivitet og adfærd, må der udføres laboratoriestudier på omhyggeligt udvalgte grupper af mennesker der afviger med hensyn til deres udsættelse for mobiltelefon signaler.

Ydermere ville det være nyttigt at følge en gruppe af nye telefonbrugere over tid, og derved forsøge at spore ændringer i hjernefunktioner eller adfærd i forbindelse med den kumulative eksponering. Studier af denne type burde prioriteres højt for kommende forskning indenfor området.

### **Effekter på hjerte og blodtryk**

RF felter kunne i princippet påvirke det kardiovaskulære system gennem forskellige mekanismer. Ved normal brug af telefoner med telefonen holdt mod siden af hovedet, er den direkte påvirkning af hjertet ikke sandsynlig. Derimod kunne indflydelse på de kardiovaskulære centre i hjernestammen eller af hovedpulsårens receptorer være mere sandsynlig.

Konklusion fra hjerte og blodtryksundersøgelser:

På basis af publicerede resultater er der ingen basis for bekymring om effekten af mobiltelefoner på hjerte eller cirkulation. Det er imidlertid et område, hvor der bør gøres flere forsøg med et stort antal frivillige forsøgspersoner og veldefinerede kontrolbetingelser.

### **7.3 Mobiltelefoner og kørsel**

Mobiltelefoners skadelige effekt på den folkelige helbredstilstand er ikke kun gennem direkte eksponering af elektromagnetisk stråling, men også indirekte ved at påvirke telefonbrugerens evne til at håndtere andre løbende opgaver. Det vigtigste og mest omtalte eksempel på en sådan påvirkning relaterer sig til brug af mobiltelefoner under kørsel.

Konklusion på eksperimentel evidens for indflydelse på kørsel: Der er kraftig evidens for at brug af mobiltelefon under kørslen påvirker førerens evne til at reagere på potentielle farlige trafiksituationer. Indflydelsen viser sig at være større end ved at lytte til radio eller ved f.eks. blot at gentage ord fra en telefonsamtale. Indflydelsen, som er tydelig ved almindelig konversation, forøges i takt med den mentale belastning af konversationen, er større for ældre førere, og er uafhængig af, om der anvendes håndholdt eller håndfrit udstyr. Det er mindre klart om andre effekter end fart og reaktionstid i forbindelse med skiftende trafiksituationer afviger i forhold til typen af telefonkonversation. Betydningen af at have en hånd optaget af en håndholdt telefon sammenlignet med effekter der er fælles for håndholdt og håndfri operation er uklar ud fra tidligere eksperimenter. Ydermere har disse heller ikke inkluderet effekten af førerens samtale med en passager i bilen ved forskellige samtalemæssige mentale belastninger. Effekter, der kunne mindske effekten ved personsamtale i bilen kunne være passagerens mulighed – i modsætning til personen i den anden ende af telefonen – til at monitorere kørslen og f.eks. holde pause ved overhalinger eller andre former for krævende aktioner.

### **Epidemiologisk evidens for effekter ved kørsel**

Der er fortaget nogle få systematiske studier af trafikuheld i forbindelse med brug af mobiltelefon.

Konklusion: Eksperimentelle studier har klart vist at brug af mobiltelefon under kørslen påvirker førerens adfærd. Der er ligeledes epidemiologisk evidens for at brug af mobiltelefon under kørslen øger risikoen for at blive involveret i et trafikuheld. Disse undersøgelser viser også, at der kun er lille eller ingen indikation af, at brug af håndfrit udstyr skulle forbedre situationen.

### **7.4 Epidemiologiske undersøgelser om generelle helseeffekter**

Epidemiologiske undersøgelser forsøger at afdække årsager og fordeling af sygdomme i befolkningen. Almindeligvis angives resultaterne i relativ risiko, dvs. hvor meget højere risiko man har for f.eks. hjernekræft, hvis man tilhører en gruppe, der udsættes for en given eksponering i forhold til en anden gruppe, der ikke udsættes for samme eksponering.



### **Undersøgelse af folk, der anvender mobiltelefoner**

Den udbredte brug af mobiltelefoner er et forholdsvis nyt fænomen, og der er kun foretaget få epidemiologiske undersøgelser om den tilhørende risiko for sygdom eller død.

### **Dødelighed og cancer tilfælde**

I USA er dødeligheden blandt kunder til en stor mobiltelefon operatør blevet undersøgt. I Sverige har man udført en case-kontrol undersøgelse af patienter med hjerne tumorer i relation til deres livsforløb inkluderende deres brug af mobiltelefon. Selv om der ikke er blevet påvist nogen signifikant forskel på to undersøgte grupper, er det vanskeligt at træffe nogen afgørende konklusion. Ligeledes vil en effekt, der måske er forsinket med 10 år eller mere, ikke være synlig.

### **Andre helseeffekter**

Forskellige symptomer af mere generel karakter bliver hyppigt rapporteret med påstand om relation til brug af mobiltelefon. Disse symptomer er mest relateret til hovedet og inkludere smerter, ubehagelig opvarmning, påvirkninger af synet og døvhed eller svimmelhed. Der er dog behov for mere tilbundsående undersøgelser for at fastslå en eventuel sammenhæng mellem disse symptomer og brug af mobiltelefon.

### **Cancer**

To tabeller fra Stewart rapporten giver en god oversigt over epidemiologiske undersøgelser af henholdsvis lymfe og blodcancer og hjersecancer hos folk med risiko for RF eksponering gennem arbejde eller hobby. De præsenterede undersøgelser er dog alle relateret til voksne personer, normalt 20+, da disse var de normale brugere i 1990'erne. Den udbredte brug i dag af mobiltelefoner blandt unge øger kravet om tilsvarende undersøgelser for denne brugergruppe. Stewart rapportens opfattelse i forbindelse med børn og brug af mobiltelefoner er, at børn muligvis er mere udsatte på grund af et nervesystem i udvikling, en større absorption af energi i deres væv i hovedet, og en længere livstids eksponering. Ud fra forsigtighedsprincippet anbefaler Stewart rapporten derfor, at børns brug af mobiltelefoner bør begrænses, og at der ikke bør gøres specielle reklamefremstød for børns brug af mobiltelefoner. Denne opfattelse imødegås dog af en hollandsk "Electromagnetic Fields Committee" (Gezondheidsraad 2003), som fremfører, at 'Komitéen ikke føler, der er nogen helbredsmæssig begrundelse for at begrænse børns brug af mobiltelefoner'.

**Table 5.19 Epidemiological studies of lymphatic and haematopoietic cancer in people potentially exposed to RF radiation through work or hobbies**

Type of study	Study population	Exposure condition	Disease outcome	Number of exposed cases	Estimated relative risk (with 95% CI)*	References
Cohort	Radar technicians in US Navy	Occupations with higher exposure to RF radiation (radar)	Death from lymphatic or haematopoietic cancer	26	1.18	Robinette <i>et al</i> , 1980
Cross-sectional analysis of proportional mortality	Men age 20+ years in Washington State, USA	Radio and telegraph operators	Death from lymphatic or haematopoietic cancer	15	1.37	Milham, 1985
		Radio and television repairmen		12	1.27	
Cohort	Amateur radio operators in California and Washington State, USA	Amateur radio operators	Death from lymphatic or haematopoietic cancer	89	1.23 (0.99–1.52)	Milham, 1988
Cohort	White male enlisted men in US Navy	Radiomen	Non-Hodgkin's lymphoma	2	0.6 (0.1–2.0)	Garland <i>et al</i> , 1988
		Aviation electronics technician		1	0.4 (0.0–2.2)	
Case-control	Men aged 20+ years in New Zealand	Radio and television repairmen	Leukaemia	2	7.9 (2.2–28.0)	Pearce and Fraser, 1989
Cohort	White male enlisted men in US Navy	Radiomen	Leukaemia	4	1.1 (0.3–2.8)	Garland <i>et al</i> , 1990
		Electronics technician		5	1.1 (0.4–2.6)	
Cohort	Norwegian electrical workers	Occupations with potential exposure to RF radiation	Leukaemia	9	2.85 (1.30–5.41)	Tynes <i>et al</i> , 1992
Cohort	Norwegian female radio and telegraph operators	Radio and telegraph operators	Leukaemia	2	1.1 (0.1–4.1)	Tynes <i>et al</i> , 1996
			Lymphoma	5	1.3 (0.4–2.9)	
Cohort	Polish military personnel aged 20–59 years	Occupational exposure to RF radiation	Lymphatic and haematopoietic cancer	Not given	6.31 (3.12–14.32)	Szmigielski, 1996
Cohort	Female employees in an Italian plastics factory	Exposure to RF radiation through work in a dielectric heat sealing department	Death from leukaemia	1	5.0	Lagorio <i>et al</i> , 1997
Cohort	Men and women employed in the design, manufacture and testing of wireless devices	Work in occupations with moderate or high peak exposures to RF radiation	Death from lymphatic or haematopoietic cancer	20	0.54 (0.33–0.83)	Morgan <i>et al</i> , 2000

\*Confidence intervals, where shown, are as calculated by the authors

kilde: Stewart rapport side 94

**Table 5.20 Epidemiological studies of brain cancer in people partially exposed to RF radiation through work or hobbies**

Type of study	Study population	Exposure condition	Disease outcome	Number of exposed cases	Estimated relative risk (with 95% CI)*	References
Cross-sectional analysis of proportional mortality	Man aged 20+ years in Washington State, USA	Radio and telegraph operators Radio and television repairmen	Death from brain cancer	1 2	0.38 0.59	Milham, 1985
Case-control	White men aged 30+ years from three areas of USA	Ever worked in a job with likely exposure to RF radiation	Death from brain cancer	69	1.6 (1.0–2.4)	Thomas <i>et al</i> , 1987
Cohort	Amateur radio operators in California and Washington State, USA	Amateur radio operators	Death from brain cancer	29	1.39 (0.93–2.00)	Milham, 1988
Cohort	Norwegian electrical workers	Occupations with potential exposure to RF radiation	Brain tumours	3	0.61 (0.13–1.78)	Tynes <i>et al</i> , 1992
Cohort	Norwegian female radio and telegraph operators	Radio and telegraph operators	Brain tumours	5	1.0 (0.3–2.3)	Tynes <i>et al</i> , 1996
Cohort	Polish military personnel aged 20–59 years	Occupational exposure to RF radiation	Tumours of the nervous system and brain	Not given	1.91 (1.08–3.47)	Szmigielski, 1996
Case-control	Male personnel in US Air Force	Potential exposure to RF radiation	Brain tumours	94	1.39 (1.01–1.90)	Grayson, 1996
Cohort	Female employees in an Italian plastics factory	Exposure to RF radiation through work in a dielectric heat sealing department	Death from brain cancer	1	10.0	Lagorio <i>et al</i> , 1997
Cohort	Men and women employed in the design, manufacture and testing of wireless devices	Work in occupations with moderate or high peak exposure to RF radiation	Deaths from cancers of the nervous system and brain	7	0.53 (0.21–1.09)	Morgan <i>et al</i> , 2000

\*Confidence intervals, where shown, are as calculated by the authors

kilde: Stewart rapport side 95

**En opsummering** af den overordnede evidens fra epidemiologiske undersøgelser viser ingen indikation af, at RF stråling giver risiko for cancer. De benyttede typer af eksponering varierer dog for de forskellige undersøgelser og er ikke identiske med hvad der svarer til stråling ved mobiltelefoni. Mange af undersøgelserne lider også af dårlig statistik og metodiske svagheder. Derfor kan de dog ikke med sikkerhed afvise at RF stråling kan indebære risici for cancer.

### **Andre helse-risici end cancer**

Selvom der mest har været fokuseret på cancer forbindelse med RF stråling, har adskillige undersøgelser af beskæftigelsesorienterede grupper udsat for RF stråling beskæftiget sig med ikke-cancer dødelighed eller sygdomstilfælde.

Det anbefales, at der oprettes et register for folk, der eksponeres gennem deres arbejde både i relation til cancer og anden sygelighed. På baggrund af dette vil enhver indikation af skadelig virkning fra RF stråling kunne afdækkes og underkastes en nærmere undersøgelse.

### **Beboelse nær radio og televisions antenner**

Undersøgelser af cancer for folk, der bor nær radio eller TV antenner er blevet foretaget i USA, England og Australien. Følgende to eksempler kan nævnes: i San Francisco er der foretaget undersøgelse af ophobning af børne-leukæmi, lymfe- og hjerne-cancer indenfor en afstand af 3,5 km fra et mikrobølgetårn. Dette gav ingen evidens for et øget antal tilfælde i det undersøgte område. På Hawaii derimod viste en undersøgelse en fordobling af antallet af leukæmi-tilfælde hos børn indenfor en afstand af 4,2 km fra en gruppe af radiomaster. Imidlertid var der kun et lille antal af eksponerede tilfælde, resultatet var langt fra statistisk signifikant, og ydermere fandtes der lokalt et overantal af sygdommen. Det er derfor vanskeligt at afvise muligheden for tilfældighed.

### **Konklusion fra epidemiologiske undersøgelser**

Bortset fra risici i forbindelse med brug af mobiltelefon i forbindelse med kørsel, har der ikke vist sig nogen overbevisende epidemiologisk evidens for at RF bestråling i almindelighed vil forårsage sygdomme på mennesker. Dette gælder i særdeleshed også for mobiltelefon relateret stråling i den grad det er blevet efterforsket. På den anden side har de foretagne undersøgelser haft så mange begrænsninger, at de heller ikke giver nogen endelig forsikring mod skadevirkninger. F.eks. rapporterer flere mennesker om symptomer som hovedpine, træthed, og føling af varme bag ørene efter kort tids brug af mobiltelefon. Det er for nuværende uklart i hvilken grad, om overhoved nogen, disse symptomer skyldes RF stråling.

## **7.5 Forslag til fortsat forskning**

På baggrund af de potentielle risici for at mobiltelefoni på længere sigt kan skabe alvorlige sygdomme anbefales det af ekspertgrupper, at skaffe forskningsmidler til store case-kontrol studier af hjerne cancer, akustisk neuroma, spytkirtel-cancer og leukæmi.

### **Studier af grupper af mobiltelefon brugere**

På grund af forskellige problemer med case-kontrol studier, såsom valg af passende kontrol og det faktum, at case-kontrol ofte kun fokuserer på én eller to sygdomme, anbefales studier af grupper (cohort studies), hvor flere forskellige helbredsproblemstillinger kan udforskes. Det anbefales derfor, at foretage studier af store grupper af lang tids mobiltelefon brugere, specielt med fokus på folk, der startede allerede i 1980'erne.

Næste skridt vil være forsøg med frivillige forsøgspersoner, og man må her udvise maksimal opmærksomhed på negative effekter af hensyn til sikkerheden i forbindelse med test procedurerne. Sandsynligheden for at fremkalde eftersøgte virkninger skal maksimeres, og hvis effek-

ter påvises, skal de parametre der fremkalder effekterne specielt undersøges for at afdække eventuelle helserisici. Kun ved at følge et sådant forsigtighedsprincip kan en gennemgribende analyse foretages uden alt for store omkostninger.

## **Referencer:**

- AGNIR 2003: Health Effects form Radiofrequency Electromagnetic fields. Document of the NRPB: Volume 14, No.2,2003.
- Koivisto et al. 2000: Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular phones on response times in humans, *NeuroReport*, 11, 413.
- Koivisto et al.: The effect of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory, *NeuroReport*.
- Preece et al. 1999: Effect of a 915 MHz simulated mobil phone signal on cognitive function in man, *Int. J. Radiat Biol.* 75, 447.
- Stagg et al. 1997: DNA synthesis and cell proliferation in C6 glioma and primary glial cells exposed to a 836.55 MHz modulated radiofrequency field, *Bioelectromagnetics*, 18, 230.
- Stewart 2000: Independent Expert Group on Mobile Phones, *Mobile Phones and Health*, Chairman: Sir William Stewart, 2000.
- Gezondheidsraad 2003: 'Electromagnetic Fields: Annual Update 2003' fra 'Gezondheidsraad (Health Council of the Netherlands)'

## **7.6 Undersøgelsesrapporter fra andre lande**

### **Den hollandske rapport**

Forfatterne er stort set enige med Stewart rapportens konklusioner, men syntes ikke der er grundlag for at regulere børns mobiltelefon adfærd.

Forskningsområder som anbefales er beskrevet i rapporten fra d. 4. februar 2003 med titlen "Health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields: Recommendations for research .

### **Den svenske SSI's rapport**

Rapporten er en fremskrivning af Stewart rapporten op til december 2003. Hoved konklusionen er at der sket en del mere forskning vedr. RF og sundhed, men konklusionerne fra Stewart rapporten er uændret. Forfatterne fandt desuden at der næsten ikke eksisterer data vedr. børns påvirkninger. Dog er emnet et højt aktuelt forskningsområde og forskellige organisationer og forskere arbejder på problematikken. Der forventes mindst en konference på børneområdet i 2004. Derfor kommer en beretning omkring dette emne i SSI's næste rapport for slutningen af 2004.

SSI drager følgende konklusioner vedr. forskningsbehovet:

- En ny generation af epidemiologiske studier kræver introduktion af RF sensorer til brug for store skala epidemiologisk forskning. Det bliver stærkt anbefalet at udviklingen af sådanne instrumenter bliver støttet mest muligt. Studierne, som benytter nye dosimetre kan være et høj prioriteret forskningsområde!
- RF strålingens evt. genotoksiske effekt er vigtigt at undersøge nærmere
- Mere forskning på RF's potentielle effekter på HSP (heat shock proteins) er påkrævet, selv om der er ikke evidens for negative sundhedsmæssige effekter, men HSP har evt. betydning som biomarkører for RF bestrålinger.
- blood-brain-barrier: flere undersøgelser er nødvendige på området

## Den norske rapport

Denne rapport er baseret på Stewart rapporten og det hollandske rapport (publikation no. 2002/01E, NL 2002) samt en canadisk undersøgelse ” The Royal Society of Canada. *A review of the potential health risks of radio frequent fields from wireless telecommunication devices* RSC.EPR 99-1, Ottawa, Ontario, CAN”, samt få andre kilder. Hovedkonklusionen fra alle benyttede rapporter er nævnt, og ingen giver dokumentation for skadelige effekter.

Norske anbefalinger vedr. forskning, som bør koordineres med andre lande, herunder EU, er at ”*Ekspertutvalget anbefaler kontinuitet i kompetansen og at den utvikles videre gjennom deltakelse i forskning*”.

Mht. den fremtidige forskningsindsats peger rapporten<sup>9</sup> på følgende områder, der vurderes at være utilstrækkeligt belyst:

Forskning bør omfatte al brug af RF stråling, herunder radioudstyr, radar, trådløs kommunikation, mobiltelefoner og plastsvejsning.

Forskningen bør omfatte befolkningsundersøgelser, specielt mht. kræft. Norge har meget velorganiserede sundhedsregistre (Kreftregistret, Fødselsregistret, Mor&Barn undersøgelsen), en overskuelig befolkning samt udstrakt brug af mobiltelefoner.

Aktuelle projekter bør omfatte børn og personer som er følsomme overfor RF felter. Lønmodtagere som er udsat for stråling fra mobilinstallationer bør følges over tid, med registrering af negative sundhedseffekter og dødelighed.

Der bør arbejdes hen imod registrering af brugen af mobiltelefoni, som grundlag for beregning af RF eksponering. Branchen bør samarbejde med forskningsmiljøet med henblik på at udvikle gode modeller for estimering af eksponering på grundlag af brugsmønstre. Brugs-mønstre for mobiltelefoner bør følges bl.a. vha. spørgeskema undersøgelser, herunder studier af hvordan børn bruger mobiltelefonen samt hvordan brugen eventuelt ændre sig i løbet af opvæksten.

Det bør overvejes at gennemføre en kohortundersøgelse af kræft og dødelighed blandt mobilabonnenter i samarbejde med branchen. En opfølgende undersøgelse med fokus på kroniske neurologiske sygdomme kan eventuelt også være aktuel. Et kræftstudie blandt børn (hjerne-svulster og leukemi) kan være aktuel, eventuelt i samarbejde med branchen.

Biologiske effekter af RF felter bør undersøges i nye studier. Specielt er det vigtigt at studere effekter på ekspression og på signal systemer. Effekter af RF felter på biokemiske processer bør studeres på molekylært niveau.

---

<sup>9</sup> "Mobiltelefon og helse: rapport fra en ekspertgruppe opprettet etter oppdrag fra Helsedepartementet", s.46-47, (Risø's oversættelse.)

## 8 ANALYSE AF EKSISTERENDE OG PLANLAGTE FORSKNINGSPROGRAMMER

### 8.1 WHO

WHO har i 1997 etableret en ”forskningsdagsorden” på et international EMF projekt ( se [www.who.int](http://www.who.int) ), som i 2003 har fået en større opdatering. WHO opfordrer forskere til at benytte ”dagsordenen” som en vejledning for studier, som har høj værdi for WHO vurderinger af sundhedsrisikoen. WHO opfordrer også statslige og industrielle støtte styrelser at benytte WHO ”dagsordenen” for at koordinere indsatsen, på områderne. Programmet indeholder følgende områder:

- laboratorieundersøgelser på mennesker
- laboratorieundersøgelser på dyr
- laboratorieundersøgelser på væv, celler og ”celle –frie” systemer
- dosimetri (som er taget separat, men er relateret til alle forskningsområder)

På feltet epidemiologi er følgende forskning prioriteret:

- overordnede emner:
  - epidemiologiske studier burde inkludere børn i kohort studier og burde tage hensyn til effekter som er specifikke for børn, f.eks. for deres skolepræstation
  - muligheden for studier af befolkningen som har god definerede høj-niveau eksponeringer (f.eks. arbejdsmiljø kohort undersøgelser) burde overvejes. Et register indeholdende befolkningsgrupper som udsattes på høj eksponering af RF stråling kunne gøre designet af sådanne studier nemmere
  - Under planlægning af epidemiologiske studier burde forskningsteamet tage hensyn til international koordination og samarbejde samt for ikke-kræft effekter som katarakts, hormoner, kroniske sygdomme, og mulige forskelle i eksponerings konditioner i forskellige lande
- igangværende:
  - International case-kontrol studie af hjernetumor m.v.
  - design og udvikling af et person dosimeter som bidrag til designet af epidemiologiske studier af basisstationer og andre faste installationer
- kortfristede eller presserende behov
  - yderligere eksponerings vurderings forskning som tillader en god design af epidemiologiske undersøgelser
  - eksponerings feltundersøgelser for RF
- langfristede eller fremtidige behov
  - et større prospektivt kohort studie af mobiltelefon brugere, som inkluderer data vedr. i agt tagne tilfælde og dødelighed.
  - studier på effekter af andre RF kilder forskelligt fra mobiltelefoner som påvirker søvn og andre ”bløde” påvirkninger eller kroniske sygdomme, som burde undersøges vha., epidemiologiske undersøgelser

Human studier

- overordnede emner:
  - specielle overvejelser burde gives ved design af human laboratoriestudier af RF eksponering ved at udvikle protokoller for kvalitetskontrol

- eksperimentelt design for human laboratoriums undersøgelser burde overveje test parametre som alder og den tidsmæssige eksponerings mønstre
- igangværende:
  - studier på RF eksponeringseffekter på reaktionstid og hukommelseeffekter
- kortfristede eller presserende behov:
  - gennemførelse og udvidelse af studier som demonstrere søvn effekter
  - studier af RF eksponering og hovedpine i kontrollerede laboratorieomgivelser
  - studier af hukommelse effekter burde også inkludere børn
- langfristede eller fremtidige behov
  - effekterne af eksponering med RF (hel krop eller lokaliseret opvarmning) på kognitiv præstation

#### Laboriestudier : dyr

- overordnede emner:
  - dyreforsøg burde benytte kommercielt relevante RF signaler
  - dyremodel systemer med potentiale for en klar respons på RF eksponering burde benyttes i indledende studier af nye signaler samt synergier med stoffer af kendt biologisk aktivitet
  - dyreforsøg burde oplyse om den potentielle påvirkning vedr. dyrenes alder på RF studierne
  - den potentielle rolle af dosis mønstre burde inddrages i eksperimentelt design
- igangværende:
  - to stor-skala gnaver bioassay studier er under udførelse (National Toxicology Program of the U.S. NIEHS)
  - forskellige opfølgingsstudier omkring modeller relateret til effekter på mennesker
  - opfølgingsstudier på adfærd
  - studier som tester reproducerbarheden af rapporterede effekter vedr. indre øre og cochlea, neurodegenerative sygdomme, termisk reaktion og kognitive funktioner
- kortfristede eller presserende behov:
  - følge studier på evt. effekter på immunsystemet efter RF eksponering
  - studier for at vurdere nøjagtigheden og reproducerbarhed af rapporterede RF effekter på gennemtrængeligheden af blod-hjerne-barrieren og andre neuropatologier
  - yderligere studier for at undersøge RF eksponerings effekter og søvn
  - flere kvantitative studier på varme effekter på udvikling af det centrale nervesystem
- langfristede eller fremtidige behov
  - hvis celle, biofysiske og teoretiske studier giver indiker for en specifik biologisk aktivitet af andre nye typer RF signaler, burde de nye signaler først undersøges i storskala gnaver bioassays o.l. modeller med relevans for effekter på mennesker
  - flere studier burde gennemføres for at bestemme effekter ved langvarigt og /eller kronisk lokaliseret opvarmning på temperaturer under 41 C

#### Laborie undersøgelser: væv, celler, celle-frie systemer:

- overordnede emner:



- studierne indenfor emneområdet har en støttende rolle for offentlig sundhedsrisiko vurderinger og er kritiske for et optimal design af dyre og epidemiologiske studier
- celle systemer er excellente kandidater for at undersøge RF og andre stoffers evt. synergistiske effekter
- celle systemer med potentialet for en klar reaktion på RF eksponering burde benyttes i indledende studier af nye RF signaler
- igangværende:
  - studier af 'mikronucleus formation' og andre genotoksiske assays
  - studier af 'hippocampal slice electrophysiology'
- kortfristede eller presserende behov:
  - eksperimentelle følgeundersøgelser vedr. stress (varme shock) proteiner i pattedyr celler eksponeret til RF
  - biologisk relevante hypoteser, som er støttet af eksperimentelle data burde testes for at undersøge anvendeligheden af disse data i forbindelse med risikovurdering.
- langfristede eller fremtidige behov
  - 'phosphorylation' profilering og andre høj-produktions assays karakteristisk for genomics, proteomics og relaterede forskningsfelter

#### Dosimetri:

- overordnede emner:
  - eksperterts støtte i dosimetri for alle typer studier er kritisk for en hensigtsmæssig design og interpretation
  - dosimetri på grundlag af numeriske beregninger burde eksperimentelt verificeres
- igangværende:
  - færdiggørelse af designet af "free-running" dyre eksponerings systemer er nødvendige for at sikre at storskala gnaver bioassay studier kan tage optimalt hensyn til forudsætninger i forbindelse med signal intensiteter og den tidsmæssige RF eksponering
  - færdiggørelse af reviews af datas relevans på tværs af forskellige signal skemaer
- kortfristede eller presserende behov:
  - yderligere forskning er krævet for at dokumenterede hurtigt vekslende eksponeringsscenarier for offentligheden og arbejderne for at støtte epidemiologiske studier
  - forbedret dosimetri og yderligere data er påkrævet for at karakterisere væv-specifikke eksponeringsparametre (SAR og varme belastning) til støtte for prioriterede celle, dyre og humane studier
  - forbedring af databasen med dielektriske data til at omfatte kræft væv, alders relaterede data m.m.
  - dosimetriske modeller af RF energi overførelse i mennesker kombineret med nøjagtige modeller af menneskers termoregulation reaktion burde udvikles for at forudsige potentielle farer i forbindelse med specifikke RF eksponerings konditioner
- langfristede eller fremtidige behov

- forskning indenfor mikro-dosimetri (f.eks. på celle eller sub-celle niveau) kan give nye erkendelser vedr. biologisk relevante ”angrebsmål” af RF.<sup>10</sup>

## 8.2 COST action 281 programmet Potential Health Implications from Mobile Communication Systems

COST aktion 281 har arbejdet siden september 2001 og er et netværk af førende europæiske forskningsgrupper på området biologiske effekter af elektromagnetiske felter. P.t. er 23 EU-lande formelle deltagere i dette samarbejde heriblandt Danmark

Forskellige konferencer er afholdt og hurtigt arbejdende udvalg er blevet etableret, som har til opgave at belyse forskellige aspekter i forbindelse med programmets formål. Der bliver udgivet nyhedsbreve og ”watchdog reports”.

Bl.a. kan nævnes en hurtig arbejdende udvalg ”Mobile communication and children”(kontakt Luc Martens). Udvalget startede i marts 2003 og har til formål :

- at samle publikationer relateret til mobiltelefoni og børn og at reviewe litteraturen
- at detektere og at rapportere områderne som mangler forskningsspecifik viden
- at udvikle en metodologi for at bestemme denne viden
- at identificere det potentielle behov for yderligere forskning på området

P.t. 6 arbejdsgrupper arbejder på følgende aspekter:

1. anatomiske egenskaber og biofysiske og biokemiske mekanismer på børn
2. dielektriske egenskaber
3. dosimetri
4. biologiske studier
5. mønstre for brug af mobil telefoner
6. risikokommunikation til børn

Der er etableret en website og mest fremskridt er kommet på kapitler 1, 2, 5 og 6.

En første udkast var planlagt til slutningen af 2003, men syntes endnu ikke udkommet ( se SSI’s rapportering i kap. 7.6).

## 8.3 Storbritannien - program ”Mobile Telecommunications and health research programme.”

Programmet er oprettet i februar 2001 efter offentliggørelse af Stewart rapporten. Tre gange er der blevet indkaldt for forskningsansøgninger, som skal belyse især de i Stewart rapporten fremhævede områder. 18 forskningsprojekter er blevet igangsat. Derudover er tre andre projekter etableret, som ikke direkte kunne relateres til udbudsmaterialet. Der er igangsat 5 epidemiologiske studier, 5 frivillige undersøgelser, 4 mekanistiske studier og 5 eksponerings og dosimetri projekter. Projekterne, som yderligere er blevet støttet er: SAR Testing of hand-free mobile phones; International EMF dosimetry project ; Measurement of the power density of radio waves in the vicinity of microcell and picocell base stations and Detection of effects of microwave radiation on the electrical activity of the brain.

---

<sup>10</sup> Goldstein ; Dewhirst, Kheifets, Repacholi; Summary, Conclusions and recommendations: Adverse temperature levels in the human body; Int. J. Hyperthermia. 19, 373 – 384, (2003)

## 8.4 Finsk nationalt forskningsprogram

Finland har i årene 2000–2003 i Tekes–ETX programmet : ”Electronics for the information society” (<http://www.uku.fi/lavita/>), som skal oplyse om lokale absorptions maksima i brugernes krop og mulige specifikke biologiske effekter fra amplitude- modulerede radiofrekvente felter. Problemstillingen er undersøgt i LaVita projektet.

Projektet omfatter 10 arbejdsområder:

1. Effekter af RF elektromagnetiske felter på kognition og hjernefunktioner
2. Human kredsløbs respons under eksponering af RF trådløst kommunikation
3. Effekter af mobil telefoner på ’cardiac pacemakers’
4. aktivitet af enzymet ODC i cellekulturer efter RF eksponering på 835 og 900MHz
5. *Saccharomyces cerevisiae* som model organisme for studier af biologiske effekter af RF felter
6. Udvikling af in vitro dosimetri og biomarkører for at studere in vivo RF–EMF biologiske effekter
7. Dynamisk adaptiv modellering af den humane krop for RF strålingens absorption
8. Numeriske simulation af RF eksponerings konditioner under anvendelse af FDTD metoden
9. Case-control studier af hjernetumors ætiologi
10. Mulige sundhedsmæssige effekter af mobil telefonens elektromagnetiske felter på hørelse og balancen

Finland har tidligere gennemført forskningsprogram ”Biologiske effekter af elektromagnetiske felter” i 1994–1997 som bidrag til det europæiske COST244 program. Bl.a. er metoder blevet udviklet for at undersøge radiobølgers absorption i menneskelige hoveder. Metoderne omfatter numerisk modellering og målinger på et fantom. Det blev fulgt op af programmet ”Elektromagnetiske felter fra mobiltelefoner som mulig sundhedsrisiko” gennemført i årene 1998–2000. Her blev modelleringen af de elektromagnetiske eksponerings konditioner fortsat samt at undersøge mulige kræft relaterede effekter af EMF eksponering under anvendelse af epidemiologiske metoder og dyreforsøg. Desuden blev der udviklet et eksponeringssystem for dyr og cellekultur studier. Ydermere er studier vedr. ”hypersensitive” symptomer gennemført, og sigtet var at udvikle in vitro (cellekulturer) for at kunne teste relationerne mellem biologiske effekter og modulations parametre.

## 8.5 USA – ”Studies to Evaluate the Toxic and Carcinogenic Potential of Cell Phone Radio Frequency Radiation”

’National Institute of Environmental Health Sciences’ har i februar 2004 givet et kald til ’Studies to Evaluate the Toxic and Carcinogenic Potential of Cell Phone Radio Frequency Radiation’. Det er tanken, at kaldet skal lede til en kontrakt med én ansøger. Formålet med denne kontrakt er at få udført studier af mulige toksiske og carcinogene risici fra mobiltelefon radiofrekvens stråling af ’SpragueDawley’ rotter og ’B6C3F1’ mus, der udsættes for bestråling i et specielt testkammer. Projektet skal løbe i flere faser, hvoraf den første skal omhandle arbejdsaktiviteter, der relaterer sig til fremskaffelse af udstyr og materialer, der skal bruges for at opbygge testkammeret, eksponeringsudstyr og monitorer. De efterfølgende faser vil dreje sig om eksponering af dyrene i relation til termiske pilot studier, perinatale/prekroniske toxicity studier, kroniske studier, og transgenetiske studier.

## 9 INPUT TIL STYRINGSMODEL FOR FORSKNINGSPROGRAMMET

I det følgende beskrives nogle forslag vedr. en styringsmodel for koordinering af den danske indsats indenfor forskningsindsatsen på RF strålingen typisk for mobiltelefoner og moderne kommunikationsudstyr, som på kort tid er blevet en del af fundamentet for vores samfund.

Desværre står ethvert forskningsprogram overfor et dilemma, hvis formodede effekter ikke umiddelbart kan påvises ved empiriske undersøgelser. De videnskabelige metoder er meget velegnede til at kunne beskrive reale effekter. Dog i situationer, hvor sådanne effekter ikke kan påvises, kan det ikke derved konkluderes at disse ikke eksisterer; manglende positive forskningsresultater kan skyldes metodologiske fejl eller at undersøgte effekter først viser sig efter længere tidsrum end det forløbne. Sådanne problemer betyder at indsatsen kan blive meget omfattende og mere langsigtet, før den fører til konsensus omkring risikoen for mennesker og en generelt accept af deraf følgende grænseværdier. Derfor syntes det især vigtigt at prioritere forskningsindsatsen omhyggeligt, samt at opretholde en stadig diskussion for derigennem at opnå en generel accept af de valgte prioriteringer.

### 9.1 Prioritering

Nordiske og tyske specialister har for nylig været samlet i København (19. januar 2004) for at diskutere prioriteter for dansk og nordisk forskning i relation til sundhedsrisici ved menneskelig eksponering af radiofrekvens felter fra mobiltelefoner og basisstationer. Konklusionerne fra mødet er kort angivet nedenfor:

1. **Nordisk studie af hjerne-cancer hos børn.** 'Case-control study' af risiko for hjerne-cancer hos børn, der har haft udstrakt brug af mobil telefoner. Undersøgelsen vil drage nytte af det udførlige cancer register for børn, der eksisterende både i de nordiske lande og i Tyskland.
2. **Europæisk kommende kohorte studie.** Danmark bør forsøge at deltage i et forslag om et fælles europæisk kohorte studie om helseproblemer i forbindelse med mobil telefoni, koordineret af WHO.
3. **Undersøgelse af helbredsproblemer i forbindelse med basis stationer.** Etablering af en national undersøgelse af eksponering af radiofrekvens felter fra basis stationer og lignende kilder i relation til risici for akutte og 'halv'-akutte helbredseffekter.
4. **Studier af individuel risikoopfattelse og offentlig bekymring.** Offentlig bekymring i relation til basis stationer i nærhed af skoler, arbejdspladser og hjem i relation til niveauet af viden og offentlig debat.
5. **Eksperimentelle studier af udvalgte korttids helseeffekter i forbindelse med RF-felt eksponering.** Undersøgelser af korttids neuro-psykologiske, neuro-fysiologiske og adfærdseffekter af mennesker udsat for eksponering af radiofrekvens felter på mobiltelefon niveau.
6. **Karakterisering af individuel speciel følsomhed.** Supplerende undersøgelser af individer, der påstår speciel følsomhed overfor radiofrekvens felter, elektriske strømme, magnetfelter og kemikalier.

De første fire punkter i denne liste fik på mødet den højeste prioritet i dansk forskning.

Der findes i dag i Danmark en række forskellige spredte aktiviteter omkring forskning indenfor nærværende emne, hvor vægten ligger indenfor det medicinske /epidemiologiske område.

Ved etablering af den strategiske forskningsrådspulje indenfor mobiltelefon området er det nærliggende at styrke disse forskningsmiljøer som udgangspunkt for en mere omfattende dansk indsats på området. Dog peger nogle af de i forundersøgelsen nævnte internationale forfattere på, at nye epidemiologiske samt laboratorieundersøgelser burde i gang sættes så snart dosimetrien er blevet forbedret. Herunder tænkes der både på måleudstyr, som kan måle tid-sopløste strålingsfelter på personer og mere biokemisk relateret forskning på såkaldte ”stress proteiner” og lignende stoffer, som kan give et udsagn omkring eksponering på celleniveau. Derfor vil det være ønskeligt på lidt længere sigt at den epidemiologiske og mere teknisk/ naturvidenskabelige danske indsats styrkes gennem en tilpas styringsmodel til forskningsprogrammet. Det foreslås at en styringsmodel især tager hensyn til følgende aspekter:

- Et international, tværfagligt og kritisk forskerpanel til bedømmelse og opfølgning af projekter
- Styrkelse af den teknisk/naturvidenskabelige forskning omkring emnet samt tværfagligt samarbejde i nogle projekter
- Mulighed for interesserede institutter og forskere fra beslægtede områder at søge støtte (måske 3 til 6 måneder) til vidensopbygning (litteratur, indledende eksperimenter, deltagelse i konferencer, gæsteophold etc.) indenfor feltet. Her tænkes især på områderne:
  - projekter på teknik/naturvidenskabelig/biokemisk felt: forbedring af dosimetri og/eller samspil med epidemiologer som f.eks. kan føre til nye projekter på folkesundhedsområdet: forbedrede epidemiologiske undersøgelser på befolkningsdele som formodes at være mest udsat og/eller påvirkelige af mobilstråler
- videnskabelig konference med alle involverede – konsensus rapport – road mapping af medlemmer med henblik på en eventuel langsigtet indsats på området.
- Projekter som egner sig til at danne grundlag for en langsigtet overvågning/statistisk opsamling af data på området som også involverer mere det socio-tekniske område

En Hollandsk undersøgelse (TNO-report FEL-03-C148) gav for nylig indikationer i retning af at stråling fra mobiltelefoner kan have indflydelse på menneskers velbefindende. Forskere fra Storbritannien og Schweiz er pt. uafhængigt af hinanden i gang med at efterprøve disse resultater. Sådanne kontrol studier er nødvendige og bør derfor prioriteres. Samtidigt bør der dog lægges vægt på en høj grad af international koordination, for derved at undgå unødigt redundans.

Der er indikationer af, at bestråling med mobiltelefon-signaler ved intensiteter, der ligger indenfor de eksisterende grænser, der er specificeret af ICNIRP, giver direkte korttids effekter på den elektriske aktivitet i den menneskelige hjerne og på de kognitive funktioner. Dette kan skyldes forskellige biologiske fænomener, som er påvist gennem eksperimenter med isolerede celler og dyr. Det er vigtigt og nødvendigt at undersøge, om disse direkte effekter især på hjernen kan have konsekvenser for helbredet, og om der – såfremt det er tilfældet – skal anvendes en revideret grænseværdi.

Foreløbige epidemiologiske undersøgelser peger ikke på at RF stråling vil give cancer. Denne konklusion er i overensstemmelse med de overordnede konklusioner om, at biologiske effekter af stråling, der ligger under de gældende grænseværdier, ikke giver mutationer eller fremmer tumor dannelser.

På basis af den udbredte bekymring for dette er fortsat forskning dog vigtig og nødvendig.